

# **Einfluss von Fahrsimulator-Training auf Fahrsicherheit von Senioren**

Abhandlung

zur Erlangung der Doktorwürde

der Philosophischen Fakultät

der

Universität Zürich

Vorgelegt von

**Gianclaudio Casutt**

Von Bonfol / Jura

Angenommen im Herbstsemester 2013

auf Antrag von Herr Prof. Dr. Lutz Jäncke und

Prof. Dr. Mike Martin

Zürich, August 2015



# **Gewidmet**

Herbert Walter Löwe





## **Danksagung**

Ich bedanke mich bei all denen, die mir während dem Dissertationsprozess durch Aufmunterung und anregende Diskussionen Kraft gegeben haben. Der Dank richtet sich insbesondere an MitarbeiterInnen der Lehrstühle Gerontopsychologie und Neuropsychologie, aber auch an all jene, die durch räumliche Nähe zu Begleitern meiner Dissertationszeit wurden.

Einen speziellen und besonderen Dank richtet sich an meine Betreuer Prof. Dr. Lutz Jäncke und Prof. Dr. Mike Martin, die mich während schwierigen bzw. belastenden Situationen durch Ihre Kompetenz und Erfahrung unterstützt haben.

Des Weiteren möchte ich mich beim Verkehrspsychologie-Team bedanken. Dank der Abwechslung in diesem Tätigkeitsbereich und Dialogen über andere Themenbereiche, nährte mich immer wieder mit neuer Energie für das Abschliessen des Dissertationsprojekts. Namentlich möchte ich hier insbesondere Frau Dipl.-Psych. Petra Jäncke und Dr. phil. Cyrill Ott nennen.

Die sachlichen / fachlichen sowie zwischenmenschlichen Gespräche haben mich nicht nur Wissen gelehrt, sondern haben mir auch geholfen mehr über mich zu erfahren.

# **Doktorarbeit und Originalpublikationen**

## **„Drive-Wise“ Projekt**

Trainingsstudie zur Überprüfung der Wirksamkeit eines multi-domänen Trainingsansatz zur Verbesserung der Fahrleistung älterer Kraftfahrer. Einerseits wurden trainingsbedingte Veränderungen der realen Fahrleistung, der fahrrelevanten Wahrnehmungsleistung sowie der neuronalen Aktivierung untersucht, andererseits zwei unterschiedliche Trainingsansätze (uni- vs. multi-domän) gegeneinander verglichen.

### **Publikation 1:**

Casutt, G., Theill, N., Martin, M. and Jäncke, L. (2014). The Drive-Wise Project: Driving Simulator Training increases real driving performance in healthy older drivers

### **Publikation 2:**

Casutt, G., Martin, M. and Jäncke, L. (2015). Driving simulator training reduces brain workload in older drivers

# Inhaltsverzeichnis

<b>I. Summary.....</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>7</b>
1.1 Veränderungen im Fahrverhalten von Senioren.....	8
1.2 Ansätze zur Erhöhung der Fahrleistung.....	9
1.2.1 Uni-domäne kognitive Trainingsansätze.....	11
1.2.2 Multi-domäne Trainingsansätze .....	14
1.3 Inhibitionsleistung im Alter.....	18
1.4 Neuronale Entwicklung im Alter .....	19
1.4.1 Neuronale Korrelate und Fahrleistung älterer Kraftfahrer .....	21
<b>2 Methode.....</b>	<b>23</b>
2.1 Stichprobe.....	23
2.2 Messverfahren .....	23
2.2.1 Fahrleistung .....	24
2.2.2 Wahrnehmungsleistung.....	24
2.2.3 Brain Workload.....	25
2.3 Trainingsprozedere.....	26
2.3.1 Multi-domänes Fahrsimulator-Training.....	27
2.3.2 Uni-domänes kognitives Training .....	28
2.3.3 Kontrollgruppe.....	29
<b>3 Original Publikationen.....</b>	<b>31</b>
3.1 Publikation 1: The drive-wise project: Driving Simulator Training increases real driving performance in healthy older drivers .....	31
3.2 Publikation 2: Driving simulator training reduces brain workload in older drivers .....	45
<b>4 Gesamtdiskussion.....</b>	<b>83</b>
<b>5 Zeichenerklärung.....</b>	<b>91</b>
<b>6 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>93</b>
<b>7 Curriculum Vitae .....</b>	<b>101</b>
<b>8 Anhang.....</b>	<b>105</b>



## Zusammenfassung

Gemäss wissenschaftlichen Arbeiten kann gezeigt werden, dass mit zunehmendem Alter das Unfallrisiko steigt (z. B.: Lyman et al. 2002; Casutt et al. 2013). Aufgrund des demografischen Wandels ist deshalb Handlungsbedarf angezeigt (OECD 2001). In der Schweiz gibt es, wie in vielen anderen Staaten, gesetzliche Richtlinien unsichere Kraftfahrer zu identifizieren und deren Fahrberechtigung abzuerkennen (Mosimann et al. 2012). Doch scheinen die bisherigen Verfahren die Verkehrssicherheit nicht positiv zu beeinflussen (Siren, Meng 2012). Unterschiedliche geistige, körperliche altersbedingte Funktionseinbussen sowie der Abbau der Sinnesorgane spielen im Kontext von unsicherem Fahrverhalten eine wichtige Rolle (Anstey et al. 2005). Eingeschränkte altersbedingte kognitive Kompetenzen stehen gemäss aktueller Literatur in engem Zusammenhang mit Fahrfehlern, Fahrunsicherheit oder Verkehrsunfällen (Ball et al. 1993; Zhang et al. 1998; Bieliauskas 2005; Ackerman et al. 2008; Wood et al. 2008).

In den letzten Jahren wurden verschiedene edukative Schulungsverfahren entwickelt und wissenschaftlich untersucht. Dabei zeigte sich, dass das Gefahrenbewusstsein bei der betroffenen Lenkergruppe zwar gefördert wird (Stalvey, Owsley 2003), doch nicht die Verkehrssicherheit erhöht (Owsley et al. 2004). Studien mit kognitiven Trainingsverfahren zeigen vielversprechende Ergebnisse, auch hinsichtlich der Wahrnehmungsperformanz älterer Kraftfahrer (Roenker et al. 2003; Ball et al. 2007; Ball et al. 2011; Edwards et al. 2012). Unterschiedliche Trainingsansätze werden hierbei verwendet, wobei es Hinweise gibt, dass komplexe und interaktive kognitiv-motorische Trainingsansätze tendenziell stärkere Transfer-Effekte (Basak et al. 2008), auch im Bereich älterer Kraftfahrer haben (Romoser, Fisher 2009; Lavallière et al. 2012). Hierbei wird in Fahrsimulatoren ein grosses Potential vermutet (Lees et al. 2010).

Basierend auf diesen Erkenntnissen, wurde mit dieser Doktorarbeit die Wirksamkeit zweier unterschiedlicher Trainingsansätze hinsichtlich der Fahrleistung älterer Kraftfahrer untersucht. Ein komplexes und interaktives multi-domänen Fahrsimulator-Training wurde mit einem konsekutiven uni-domänen kognitiven Training verglichen. Die Analyse der Trainingswirksamkeit fand auf

Verhaltensebene während einer realen Fahrt sowie auf kognitiver und neuronaler Ebene statt. Die Leistungen in diesen Ebenen wurden vor und nach dem entsprechenden Training innerhalb der einzelnen Gruppen sowie zwischen den beiden Gruppen, inklusive einer Kontrollgruppe (baseline) verglichen.

Die Ergebnisse dieser Doktorarbeit zeigen, dass Komplexität und Interaktivität (hohe mentale Anforderung) eines Trainings einen positiven Einfluss auf die kraftfahrtspezifischen Leistungen älterer Kraftfahrer hat. Beide Trainingsgruppen zeigen eine Verbesserung ihrer kognitiven Leistungen gegenüber der Kontrollgruppe. Doch in den Bereichen Fahrleistung und neuronaler Aktivierung zeigen sich positive Veränderungen bei der Fahrsimulator Trainingsgruppe verglichen zur kognitiven Trainingsgruppe. Die Fahrprobe nach dem Training wurde insbesondere bei den Kraftfahrern, die das Fahrsimulator-Training absolvierten besser beurteilt. Zudem zeigten ihre neuronalen Aktivierungsmuster beim Lösen kognitiver Aufgaben, reduzierte Aufmerksamkeitszuwendung sowie ein erhöhter Zustand neuronaler Entspannung, bei gleich guten Leistungen auf Verhaltensebene bei den Tests. Dies kann als Hinweis einer positiven neuronal-plastischen Veränderung verstanden werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass diese Dissertation Belege dafür liefert, dass ein multi-domäner Trainingsansatz gegenüber einem uni-domänen Ansatz überlegen ist. Die höhere Trainingseffizienz des multi-domänen Trainings ergänzt die bisherigen wissenschaftlichen Ergebnisse (Basak et al. 2008). Die Vermutung des Potentials komplexer Trainingsansätze hinsichtlich eines Transfers in Alltagsaktivitäten (Zelinski 2009) sowie das Potential von Fahrsimulatoren als wirksames Trainingsinstrument kann bestätigt werden (Lees et al. 2010). Zudem konnte nachgewiesen werden, dass neuroplastische Veränderungen bei älteren Kraftfahrern sich positiv auf deren Fahrleistung auswirkt.

## I. Summary

Various publications indicate an age related increase in crash risk (e. g.: Lyman et al. 2002; Casutt et al. 2013). Due to the current demographic changes, there is need for action in this context (OECD 2001). Like in other countries, mandatory age-based screenings to identify unsafe drivers and regulate driving license withdrawal also exist in Switzerland (Mosimann et al. 2012). Though, corresponding to a recent study in this regard, it seems that these mandatory policies have failed (Siren, Meng 2012). However, it is beyond dispute that the age dependent decline in cognitive, physical and sensory domains plays a crucial role in the context of driving safety (Anstey et al. 2005). Accordingly, different publications have shown a close relation between cognitive decline and an increase in driving errors, driving uncertainty and accidents (Ball et al. 1993; Zhang et al. 1998; Bieliauskas 2005; Ackerman et al. 2008; Wood et al. 2008).

In the past years, accordant educational interventions were developed and investigated. On the one hand, these intervention groups showed awareness of dangerous events (Stalvey, Owsley 2003), even though without an actual increase in driving safety (Owsley et al. 2004). Furthermore, cognitive trainings also revealed promising results in the field of cognitive performance enhancement in older drivers (Roenker et al. 2003; Ball et al. 2007; Ball et al. 2011; Edwards et al. 2012). When comparing different training approaches, complex and interactive cognitive-motor trainings seem to exhibit more pronounced transfer effects (Basak et al. 2008) in older people in general, and particularly in older drivers (Romoser, Fisher 2009; Lavallière et al. 2012). Thus, a high potential in enhancing traffic safety has been attributed to driving simulators (Lees et al. 2010).

Based on these results, the present doctoral thesis investigated training efficacy in older drivers driving performance with two different training approaches. A complex interactive multi-domain driving simulator training and a consecutive uni-domain cognitive training were compared to each other. In the course of this comparison, training efficacy was analyzed in a real on-road driving setting as well as in the cognitive and neuronal dimension. Contrasting juxtapositions comprised within and between group comparisons of performance before and after the corresponding trainings. In additon, a control group was

introduced in order to provide appropriate baseline measurements for further comparison.

The results revealed a positive influence of training complexity and interactivity (high mental workload) in older drivers' level of performance. In contrast to the control group, both training groups showed better cognitive performance in general. Moreover, there were positive changes in on-road performance and neural activation in the simulator training group compared to the cognitive training group. In particular, there was an increase in the on-road driving performance after training in the simulator training group. In addition, neural activation patterns indicated reduced attentional demands and enhanced state of relaxation in absence of a reduction on task performance at once during the solving of cognitive tasks. This might be interpreted as a positive change in brain plasticity.

Taken together, the results reported in the dissertation at hand provide evidence for a higher efficacy of a multi-domain training approach compared to a training targeting consecutive different single domain. The higher efficacy of the multi-domain training is in accordance with existing data (Basak et al. 2008). In addition, the transfer of a multi-approach training to everyday activities is well established (Zelinski 2009), which further supports the potential of driving simulators as a training instrument (Lees et al. 2010). Moreover, beneficial changes in brain activation in older drivers may also lead to a better driving performance.



## 1 Einleitung

Die Bevölkerung wird im Durchschnitt immer älter. Durch diesen demografischen Wandel ist in vielen Ländern Handlungsbedarf im Gesundheitssystem, der staatlichen und privaten Altersvorsorge, aber auch im motorisierten Individualverkehr (MIV) angezeigt (OECD 2001). In der Schweiz können die Auswirkungen des demografischen Wandels im MIV bereits nachgewiesen werden. Der Anteil der über 70-jährigen Kraftfahrer<sup>1</sup> (Senioren) hat in den letzten 20 Jahren konstant und im Vergleich zu anderen Altersgruppen am stärksten zugenommen, wobei auch deren jährliche Fahrleistung stetig gestiegen ist. Bis zum Jahr 2030 wird der Anteil älterer Kraftfahrer sukzessive ansteigen (Bundesamt für Statistik, Bundesamt für Raumentwicklung 2012). In den letzten zwanzig Jahren hat sich in der Schweiz der Fahrzeugbestand verdoppelt, wodurch die Wichtigkeit der individuellen Fahrzeugnutzung im alltäglichen Leben deutlich wird. Die Fahrzeugverfügbarkeit wird als normativ betrachtet und die Nutzungsmöglichkeiten haben zugenommen und sind einfacher geworden. Das subjektive Gefühl über die eigene Mobilität entscheiden zu können, hat demzufolge einen hohen gesellschaftlichen Stellenwert (Oxley, Whelan 2008). Aufgrund körperlicher Einschränkungen gewinnt der MIV im höheren Erwachsenenalter noch eine stärkere Bedeutung, wodurch eine Einschränkung (Führerscheinentzug) hinsichtlich dieser Ressource das subjektive Wohlbefinden und die Alltagsaktivität reduziert (Marottoli et al. 1998; Fonda et al. 2001).

Viele Studien belegen, dass bei Betrachtung des Unfallrisikos, dieses bis in das mittlere Lebensalter konstant abnimmt und dann sukzessive wieder zunimmt (Williams, Carsten 1989; Hildebrand, Myrick 2001; Lyman et al. 2002). Auch unter Berücksichtigung der altersbedingten unterschiedlichen Verletzungsanfälligkeit (frailty) und Unfallbeteiligung (context) in den verschiedenen Altersgruppen bleibt die u-förmige Kurve hinsichtlich des Unfallrisikos bestehen (Casutt et al. 2013). Aufgrund der Kenntnisse über die altersbedingte Zunahme der Unfallrisiken und der damit einhergehenden Reduktion der allgemeinen Verkehrssicherheit wurden in unterschiedlichen Staaten Verfahren entwickelt, um unsichere ältere Kraftfahrer

---

<sup>1</sup> Wird in dieser Dissertationsschrift für beide Geschlechter verwendet und gilt für Personen, die älter als 70 Jahre sind

zu identifizieren und deren Fahrberechtigung abzuerkennen (Braitman et al. 2010; Tay 2011; Mosimann et al. 2012). Bisher konnte jedoch das eigentliche Ziel, die Reduktion der Verkehrsunfälle mit Beteiligung von Senioren bzw. die Abnahme des Unfallrisikos nicht erreicht werden (Siren, Meng 2012; Casutt et al. 2013).

Anhand dieser Einleitung ergeben sich zwei wichtige Themenbereiche. Aufgrund des demografischen Wandels erscheint es erstens von grosser Wichtigkeit bessere Kriterien zu schaffen, damit die Verfahren zur Prüfung der Fahreignung<sup>2</sup> älterer Personen trennschärfer zwischen fahrsicheren und fahrunsicheren Kraftfahrer unterscheiden können. Dies dient der allgemeinen Verkehrssicherheit sowie erscheint dies der betroffenen Person gegenüber, hinsichtlich des Entscheids, zwingend notwendig. Zweitens sollte alternativ dazu, nach anderen Möglichkeiten gesucht werden, damit Personen so lange wie möglich fahrberechtigt bleiben können, da aufgrund eines Führerscheinentzugs die Alltagsaktivität, das Wohlbefinden und der Gesundheitszustand sinken. Der erste Themenbereich wurde bereits in einer anderen Dissertationsschrift abgehandelt (Casutt 2013). Deshalb wird in dieser Dissertationsschrift ausschliesslich auf den zweiten Themenbereich eingegangen.

### **1.1 Veränderungen im Fahrverhalten von Senioren**

Altersbedingte Abbauprozesse der Wahrnehmungsleistungen wurden in vielen Längsschnittstudien nachgewiesen (Schaie 2005; Salthouse 2009). Gleichzeitig ergeben sich auch Veränderungen im Fahrverhalten von älteren Kraftfahrern und in der Art ihrer Unfallbeteiligung. Ältere Kraftfahrer meiden Fahrten während den Hauptverkehrsstosszeiten und fahren vermehrt in vertrauten Verkehrskontexten. Sie vermeiden vermehrt Nacht- oder Schlechtwetterfahrten, fahren grundsätzlich langsamer und vermeiden komplexe Verkehrssituationen (Vance et al. 2006; Eberhard 2008; Ross et al. 2009). Demgegenüber zeigen sich unterschiedliche Unfallkontexte von jungen und älteren Kraftfahrern. Ältere Kraftfahrer verunfallen häufiger in komplexen Verkehrskontexten (z.B.: mehrere Fahrstreifen, Kreuzungen), die Unfälle entstehen aufgrund unterschiedlicher Fahrfehler und zu unterschiedlichen Tageszeiten

---

<sup>2</sup> Psychische und physische Voraussetzungen zum Lenken eines Motorfahrzeugs (SVG Art. 14 Abs. 2 Bst. a–d)

(Zhang et al. 1998; Braitman et al. 2007). In Studien zu Unterschieden von Fahrfehlern ohne Unfallfolge konnte zudem gezeigt werden, dass ältere Kraftfahrer beispielsweise fehlende Kontrollblicke durchführen oder ein fehlendes Gefahrenbewusstsein haben bzw. eine bevorstehende Unfallgefahr zu langsam erfassen können (Braitman et al. 2007; Horswill et al. 2008; Romoser et al. 2013). Gemeinsam ist all diesen Veränderungen eine erhöhte Komplexität der Verkehrssituation, welche wiederum in Verbindung gebracht werden kann mit kognitiver Leistungsfähigkeit. Ältere Kraftfahrer zeigen im Vergleich zu jüngeren Fahrern grössere Schwierigkeiten, wenn die Verkehrssituation komplexer wird (Lesch et al. 2011). Anhand vieler Studien konnte nachgewiesen werden, dass Fahrunsicherheiten und Unfälle in Zusammenhang mit reduzierten Wahrnehmungsleistungen stehen (Ball et al. 1993; Anstey et al. 2005; Ross et al. 2009; Zook et al. 2009; Dawson et al. 2010; Aksan et al. 2012; Poschadel et al. 2012). Eine kürzlich erschienene Studie konnte einen Zusammenhang zwischen Unfallrisiko und den Variablen chronologisches Alter, physischer und kognitiver Fitness sowie Jahresfahrleistung aufzeigen (Langford et al. 2013).

Anhand dieses Literaturüberblicks erscheint es sinnvoll, nach entsprechenden Massnahmen zu suchen, da hier nicht grundsätzlich ein pathologischer bzw. unumkehrbar degenerativer Prozess angenommen werden muss. Es ist bekannt, dass bei älteren Kraftfahrer aufgrund altersbedingter Veränderungen die auftretenden kognitiven Defizite über Verhaltensanpassungen kompensiert werden (Hakamies-Blomqvist 1994; Summala 1996; Hakamies-Blomqvist et al. 1999).

### **1.2 Ansätze zur Erhöhung der Fahrleistung**

In der gegenwärtigen Forschung zum Thema ältere Kraftfahrer werden neue Ansätze diskutiert. Da bisherige behördliche Massnahmen ungenügend erscheinen (Siren, Meng 2012) und der Führerscheinentzug bei älteren Kraftfahrer das psychische Wohlbefinden der Betroffenen negativ beeinflusst (Marottoli et al. 2000; Fonda et al. 2001), gehen Forscher anderen Lösungsansätzen nach.

Stalvey und Kollegen (2003) haben in Bezug der Erhöhung der Verkehrssicherheit älterer Kraftfahrer ein Curriculum entwickelt. Die Inhalte umfassen Themen altersbedingter Funktionseinbussen und mögliche

Copingstrategien zwecks Kompensation der Defizite. Die Teilnehmer verstanden die Kursinhalte und zeigten nach dem Kurs, dass sie über das nötige Wissen verfügen (Nachuntersuchung). Die Schulungsgruppe zeigte im Vergleich zu einer Kontrollgruppe bessere Reisevorbereitungsmassnahmen und verfügte über eine verkehrsspezifischere Selbstregulation. Die Autoren schlussfolgerten zu diesem Ansatz, dass durch Selbstwahrnehmung vorhandener Defizite bessere Entscheidungen getroffen werden, zu welcher Zeit und bei welchem Wetter eine Verkehrsteilnahme zu verantworten ist. Die Autoren postulieren, dass die unwissenden Personen ihr Fahrverhalten nicht ihren kognitiven Einschränkungen und der Situation entsprechend anpassen. Demzufolge fahren dieselben auch bei Bedingungen die über ihrer noch vorhandenen Ressourcen liegen unvorsichtiger, wodurch sich das Risiko eines Unfalles erhöht (Stalvey, Owsley 2003). Neuere Studien relativierten diesen grundsätzlich vielversprechenden Ansatz. Die in der Querschnittstudie von Stalvey et al. (2003) gefundenen Effekte der Selbstregulation hinsichtlich kognitiver Defizite konnte im Längsschnittdesign in abgeschwächter Form zwar repliziert werden, aber nicht in Beziehung zu einer Fahrverhaltensänderung gesetzt werden. Konkret konnte in einer Längsschnittstudie zwischen den Interventionsgruppen und einer Kontrollgruppe kein Fahrverhaltensunterschied gefunden werden (Ross et al. 2009). Die Ergebnisse der Längsschnittstudien decken sich mit früher gemachten Nachuntersuchungen der Interventionsstudie von Stalvey und Kollegen (2003). 403 ältere Kraftfahrer mit kognitiven Defiziten zeigten zwei Jahre nach dem Schulungskurs bezüglich Gefahren im Strassenverkehr bei kognitiven Defiziten (Veränderung der Selbstregulation des Fahrverhaltens) eine erhöhte Sensitivität bezüglich der Gefahren im Strassenverkehr im Kontext kognitiver Defizite, jedoch unterschied sich ihre Unfallbeteiligung gegenüber der Kontrollgruppe nicht (Owsley et al. 2004). In einer anderen randomisierten Follow-Up Studie von Kesley und Mitarbeiter (2005) wurden 40'000 Personen im Alter über 70 Jahren in vier Gruppen eingeteilt, wobei der Aufklärungsanteil von „Fahrsicherheit im Alter“ in den vier Gruppen unterschiedlich stark war. Nach zwölf Monaten zeigte sich, dass der Anteil von Wissen der Fahrsicherheit in den vier Gruppen signifikant unterschiedlich war, jedoch nicht die Häufigkeit der Unfallbeteiligung (Kelsey 2005).

Somit scheint gemäss der aktuellen Literatur zwar das Bewusstsein der Gefahren älterer Leute bezüglich Gefahren kognitiver Defizite im Zusammenhang mit Verkehrsunfällen erlernbar zu sein. Es führt jedoch nicht zu einer den Leistungen entsprechenden langfristigen Verhaltensanpassung und somit auch nicht zu einer Reduktion von Verkehrsunfällen.

### **1.2.1 Uni-domäne kognitive Trainingsansätze**

In dieser Dissertationsschrift wird unter einem uni-domänen kognitiven Training ein Trainingsansatz verstanden, bei welchem spezifisch eine bestimmte kognitive Funktion trainiert wird (prozessbezogen). Die Trainingsansätze können auch mehrere kognitive Funktionen beinhalten, die nacheinander oder auch miteinander trainiert werden, aber ganz gezielt kontrolliert werden. Die Komplexität dieses Trainingsansatzes ist auf wenige und kontrollierte Dimensionen ausgerichtet. Die Dimension entspricht einem Paradigma, welches gezielt für die zu trainierende kognitive Funktion entwickelt wurde.

Mathias et al. (2009) haben in einer Meta-Analyse die wichtigsten Faktoren für eine sichere Verkehrsteilnahme (Unfallbeteiligung) älterer Kraftfahrer identifiziert. Das UFOV<sup>3</sup>, die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, Aufmerksamkeitsfunktionen, räumliches Arbeitsgedächtnis waren die besten Prädiktoren. Desweiteren zeigten gute Leistungen in Tests zur Flexibilität, räumlicher Orientierung, Interferenz, Gesichtsfeldwinkel, verbalem und nonverbalen Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis gute Ergebnisse beim Bewältigen von Fahrsimulator-Aufgaben oder realen Fahrten zu sein (Mathias, Lucas 2009). Eine Forschergruppe kommt zum Schluss, dass insbesondere die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit (Processing Speed; kurz: PS) und das Konstrukt UFOV<sup>®</sup> prospektive Indikatoren von Unfallverhütung darstellen und gehen noch einen Schritt weiter und postulieren, dass ein kognitives Training in diesen Bereichen die Fahrsicherheit erhöhen kann (Vance et al. 2006; Edwards et al. 2009; Edwards et al. 2009; Ross et al. 2009; Ross et al. 2009). Es zeigt sich, dass für eine sichere Strassenverkehrsteilnahme das kognitive Leistungsniveau, messbar über neuropsychologische Tests, neben intakten Sinnesorganen und physischer Gesundheit, eine hinreichende Notwendigkeit ist (Burdick et al. 2005;

---

<sup>3</sup> Useful field of view, Registered Trademark of Visual Awareness Inc., Birmingham, AL

Vance et al. 2006; Ball et al. 2007; Edwards et al. 2009; Kay et al. 2009).

Kognitive Trainings bieten das Potential einer möglichen Alternative zur Verzögerung des kognitiven Abbaus ganz generell, scheinen aber sehr spezifisch zu sein (West, Alain 2000; Andrés et al. 2008; Dahlin et al. 2008; Dahlin et al. 2008). Es gibt nur sehr geringe Transfereffekte einer trainierten kognitiven Funktion in einen anderen kognitiven Bereich. Es wird sogar die Wichtigkeit der Ähnlichkeit der Aufgabenart des Trainings zur Alltagssituation und ihrer Anwendbarkeit betont (Colcombe, Kramer 2003; Kramer et al. 2003; Bherer et al. 2006). Ball et al. (2007) haben in ihrer Meta-Analyse Daten aus sechs Studien kombiniert, in denen das gleiche PS-Trainingsprogramm verwendet wurde. Dadurch wollten sie überprüfen, ob das Trainingsprogramm Alltagsaktivitäten (Transfer) älterer Menschen verbessern kann. Das Trainingsprogramm führte zu deutlich besseren Leistungen in der kognitiven Funktion UFOV®. Laut Autoren steht UFOV® in Zusammenhang mit Funktionen wie Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, Aufmerksamkeitsfunktionen sowie exekutiven Funktionen und ermöglicht dadurch eine verbesserte Alltagsbewältigung. Alltagsaktivitäten wie Geld zählen, Objekte finden, Nummern merken oder Lesen von Informationen sowie eine sicherere Fahrweise wurden aufgeführt. Die positiven Trainingseffekte konnten auch nach 18 bzw. 24 Monaten nachgewiesen werden (Ball et al. 2007). Zwei Studien, welche in dieser Meta-Analyse enthalten waren, zeigten positive Effekte hinsichtlich der Verkehrsteilnahme älterer Kraftfahrer. Ein PS-Training verzögert die Abgabe des Führerscheins, reduziert die Unfallbeteiligung und Fahrfehler (Edwards et al. 2009; Edwards et al. 2009; Ball et al. 2011). Damit gibt es Hinweise, dass mittels kognitiver Trainings das Fahrverhalten positiv beeinflusst werden kann.

Eine weitere Studie der erwähnten Meta-Analyse wird hier aufgrund der verkehrsspezifischen Relevanz noch genauer beschrieben. Roenker et al. (2003) untersuchten in ihrer Trainingsstudie den direkten Einfluss auf die Fahrsicherheit älterer Kraftfahrer. Von Interesse war, inwieweit ein spezifisches PS-Training und ein passives edukatives Fahrsimulator-Training fahrrelevante kognitive Funktionen älterer Kraftfahrer verbessern kann. Vor und nach den Trainings gab es einen UFOV® Test, eine reale Probefahrt und Reaktionszeitmessungen am Simulator (Alertness, selektive Aufmerksamkeit). Mit dem UFOV® Test wurde die

Stichprobe aufgeteilt. Teilnehmer ohne reduzierte Leistungen im UFOV bildete die low-risk Referenzgruppe. Die Teilnehmer (high-risk Gruppe) mit reduzierten Leistungen im UFOV bildeten die beiden Trainingsgruppen. Die passive Fahrsimulator-Gruppe wurde von einem Verkehrsinstruktor geschult. Die zweite low-risk Gruppe absolvierte ein PS-Training. Die Ergebnisse zeigten, dass die Processing Speed Trainingsgruppe sich gegenüber der Simulatorgruppe deutlich verbesserten im UFOV®-Test und auch leicht stärkere Trainingseffekte im Bereich der selektiven Aufmerksamkeit zeigten. Die Probefahrt zeigte in beiden Trainingsgruppen eine Verbesserung. In einer Follow-Up Erhebung (18 Monate) waren die positiven Effekte auf Fahrverhaltensebene nur noch bei der Processing Speed Trainingsgruppe nachweisbar. Die Autoren schlussfolgern, dass das UFOV® eine sehr wichtige kognitive Funktion ist, die bei älteren Kraftfahrern eingeschränkt ist und eine Ursache für die Probleme einer sicheren Verkehrsteilnahme darstellt. Zudem sehen sie in SP-Training einen Ansatz zur Verbesserung des Fahrverhaltens (Roenker et al. 2003).

Cassavaugh und Kramer (2009) führten ebenfalls ein spezifisches verkehrsrelevant kognitives Training mit älteren Kraftfahrern durch. Sie testeten die Veränderungen durch das Training jedoch mit einem Fahrsimulator. Bei den Testfahrten am Fahrsimulator wurden Variablen wie Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, die Spurgenauigkeit, Aufgabenkorrektheit und Reaktionszeiten aufgezeichnet. Nach den ersten Fahrsimulator-Fahrten erfolgten acht kognitive Trainingssitzungen (Basisaufgabe, Tracking, selektive Aufmerksamkeit, 2-Back, Dual-Task), wobei drei Trainingsitzungen eine Einzelaufgabe und fünf kombinierte Aufgaben beinhalteten. Die Differenzen zwischen den Leistungen der Fahrsimulator-Fahrten geteilt durch die geschätzte Varianz ergaben die jeweiligen, durch das Training verursachten Effektgrößen. Die Regressionsanalysen zeigten einerseits, dass die Leistungen bei Studienbeginn viel Varianz nach dem Training vorhersagten (Lerneffekt am Simulator). Dennoch konnten auch Trainingseinflüsse in Verbindung zur erhöhten Fahrleistung bei der abschliessenden Fahrsimulator-Fahrt nachgewiesen werden. Die Verbesserung der Spurabweichung, Einhaltung des Abstandes zum vorausfahrenden Fahrzeug, weniger Fehler und tiefere Reaktionszeiten wurden insbesondere mit der Aufmerksamkeitsaufgabe und der Dual-Taskaufgabe in Zusammenhang gebracht.

Die Autoren postulieren, dass die Verbesserungen der Fahrleistung am Simulator im Kontext realer Fahrprobleme älterer Kraftfahrer verstanden werden kann und erachten somit kognitive Trainings als wirksamen Ansatz für die Verlängerung der Autonomie älterer Personen (Cassavaugh, Kramer 2009).

Die hier beschriebenen Studien zeigen, dass positive Effekte aufgrund uni-domäner (prozessbezogener) kognitiver Trainingsmassnahmen hinsichtlich der Fahrsicherheit älterer Kraftfahrer nachweisbar sind und zudem längerfristig aufrechterhalten bleiben.

### **1.2.2 Multi-domäne Trainingsansätze**

Unter einem multi-domänen kognitiven Trainingsansatz wird in dieser Dissertationsschrift ein Trainingsansatz verstanden, bei welchem unspezifisch, kognitive Funktionen (Wahrnehmungsleistung) trainiert werden (komplexes Training). Zudem können neben dem Training der Wahrnehmungsleistung auch motorische Aufgaben beinhaltet werden. Wichtig dabei ist, dass die Komplexität dieses Trainingsansatzes möglichst hoch und näher an der Alltagsrealität im Vergleich zu uni-domänen Trainingsansätzen ist. Die Interaktivität zwischen dem Teilnehmer und der Trainingswelt soll wie beim uni-domänen Trainingsansatz sichergestellt werden. Im Unterschied zum uni-domänen Training sind die Dimensionen nicht gezielt auf spezifische kognitive Funktionen ausgerichtet, sondern entsprechen gewissen Szenarien (z. B.: Gefahrenwahrnehmung während einer Städtefahrt in einem Fahrsimulator). Die Kontrollierbarkeit des Trainingsansatzes erfolgt über die Komplexität dieser Trainingswelt sowie die verwendeten Szenarien, und somit nicht über ein spezifisches kognitives Paradigma.

Die erste multi-domäne kognitive Trainingsstudie mit älteren Personen wurde von Basak et al. (2008) durchgeführt. Die Forscher untersuchten, inwieweit ein komplexes computerbasiertes Strategie-Training einen Effekt auf die kognitive Leistungsfähigkeit älterer Menschen hat. Das Training (rise of nation) war ein Strategiespiel und beinhaltete reell nachgestellte Aufgaben. Aufgaben waren die Verteidigung einer Stadt, sowie Förderung von Handel und Entwicklung. Während dem Training sollte zudem zwischen unterschiedlichen Städten gewechselt werden. Die Teilnehmer sollten während dem Training zwischen optimaler oder



weniger optimaler Strategie entscheiden. Die Trainingsgruppe wurde mit einer passiven Kontrollgruppe verglichen. Ziel der Studie war zu überprüfen, ob durch das Training kognitive Funktionen gesteigert werden können. Die kognitiven Funktionen wurden vor, während und nach dem Training mittels unterschiedlicher Tests erfasst. Es waren zehn Tests zweier kognitiver Domänen: sechs Tests aus dem exekutiven Bereich (Operatorwechsel numerisch-semantisch; Flexibilität; räumliches Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis; Inhibitionsleistung; Logisches Denken) und vier visuokonstruktive Tests (functional field of view (FFOV); attentional blink; mentale Rotation; Auszählung). Durch das Training wurden Leistungen kognitiver Funktionen in zentralexekutiven Bereichen (Operatorwechsel numerisch-semantisch; Flexibilität; räumliches Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis; Logisches Denken) und in einem Bereich des visuokonstruktiven Bereiches (mentale Rotation) gesteigert. Die Autoren schlussfolgern, dass durch ein computerbasiertes multi-domänen Training Transfereffekte in unterschiedliche kognitive Funktionen existieren und fügen hinzu, dass in zukünftigen Arbeiten noch der Transfer in den Alltag untersucht werden sollte (Basak et al. 2008).

In der Studie von Marmeleira et al. (2009) wurde ein Trainingsprogramm entwickelt, in welchen perzeptive, physische und kognitive Bereiche trainiert wurden. Das Training beinhaltete aerobe Bewegungs- und Koordinationsaufgaben bei gleichzeitiger Ausführung kognitiver Aufgaben (z. B.: während Gangübung in unterschiedliche Richtungen, schnell und richtig auf spezifische visuelle oder akustische Signale reagieren). Gemäss Autoren sollte durch die hohe Aufgabenvariabilität (physisch-kognitiv) dieses Trainings einen grossen Effekt auf unterschiedliche kognitive Funktionen haben. Verbesserungen zeigten sich im PS, in zwei Bereichen von Aufmerksamkeitsfunktionen (Alertness, selektive sowie geteilte Aufmerksamkeit) sowie eine gesteigerte Fusskoordination. Die Autoren schlussfolgern, dass solche kognitive Interventionen wichtige Wahrnehmungsbereiche (visuelle Aufmerksamkeit oder die Reaktionsgeschwindigkeit) verbessern, welche auch für eine sichere Verkehrsteilnahme älterer Kraftfahrer entscheidend sind (Marmeleira et al. 2009).

Die erste Studie eines multi-domänen Trainingsansatzes mit direktem Bezug zur Fahrleistung älterer Kraftfahrer wurde von Romoser und Fisher (2009)

beschrieben. In einem ersten Experiment untersuchte die Forschergruppe, ob es beim Blickverhalten an Kreuzungen Unterschiede zwischen jungen und älteren Kraftfahrer gibt. Dabei zeigte sich, dass ältere Lenker weniger Kontrollblicke durchführten, mehr Fahrfehler begingen und generell langsamer fuhren. Im zweiten Experiment wurde ein Fahrsimulator Trainingsprogramm entwickelt, um das ungünstige Verhalten zu korrigieren. Gleichzeitig wurde eine andere Teilnehmergruppe in altersspezifisch problematischem Fahrverhalten an Kreuzungen geschult (edukative Massnahme). Vor und nach den beiden Trainings wurden reale Fahrten, Fahrsimulator-Fahrten und kognitive Tests durchgeführt. Die Fahrsimulator-Trainingsgruppe zeigte deutlich besseres Fahrverhalten bei den realen Fahrten sowie am Simulator und eine Leistungssteigerung in der visuo-konstruktiven Funktion gegenüber der edukativen Gruppe. Die Autoren kommen zum Schluss, dass die Teilnehmer durch den Fahrsimulator den Sinn der Problematik besser verstanden und sich auch aufgrund der hohen Interaktivität dieses Trainingsansatzes verbesserten (Romoser, Fisher 2009). Die positiven Verhaltensänderungen konnten auch nach zwei Jahren noch nachgewiesen werden (Romoser 2013).

Eine weitere Fahrsimulator-Studie untersuchte das Blickverhalten junger und älterer Kraftfahrer in anspruchsvollen Verkehrssituationen (Überholmanöver). Dabei zeigte sich, dass ältere Lenker eine reduzierte Kontrollblickfrequenz hatten und den Schulterblick weniger oft durchführten im Vergleich zu jungen Kraftfahrern (Lavallière et al. 2011). Aufgrund dieser Ergebnisse entwickelten Lavallière et al. (2012) ein Simulatortraining und bildeten zwei Trainingsgruppen. Eine Trainingsgruppe erhielt eine Rückmeldung betreffend falscher Blicksystematik während dem Fahrsimulator-Training, die andere Fahrsimulator-Gruppe erhielt kein Feedback. Die Ergebnisse bei den anschliessenden realen Probefahrten zeigten, dass insbesondere die Trainingsgruppe mit einer Rückmeldung ihre Blicksystematik verbessern konnte. Die Trainingsgruppe ohne Rückmeldung profitierte nicht vom Training. Die Autoren schlussfolgern, dass insbesondere die Kombination von Rückmeldung und Training am Simulator einen positiven Trainingseffekt erzielt (Lavallière et al. 2012)

Horswill et al. (2008) zeigten mit einer Fahrsimulator-Studie, dass die

Gefahrenwahrnehmung während Fahrten am Simulator bei älteren Kraftfahrern gegenüber jüngeren Lenkern deutlich reduziert ist, bei gleichzeitiger tieferen Leistungen in den kognitiven Bereichen UFOV® und Alertness. Daraufhin entwickelten sie ein Gefahrenwahrnehmungstraining an einem Simulator. Es wurden zwei Trainingsgruppen gebildet, wobei eine Gruppe während den passiven Fahrsimulator-Fahrten (Videosequenzen) zeitgleich über einen Instruktor auf allfällige Gefahrenmomente aufmerksam gemacht wurde. Die andere Trainingsgruppe wurde lediglich gebeten während den Fahrten sich vorzustellen, dass sie selber fahren würden. Nach dem Training zeigte sich bei der Trainingsgruppe mit Instruktion, dass Gefahrensituationen häufiger und schneller registriert wurden als bei der Trainingsgruppe ohne Instruktion. Auch hier zeigte sich, dass die Information über die Gefahrenmomente einen wesentlichen Einfluss auf das Gefahrenbewusstsein älterer Kraftfahrer ausübt. In dieser Trainingsstudie zeigten sich keine Gruppenunterschiede hinsichtlich kognitiver Funktionen (Horswill et al. 2010).

Gemäss den hier dargestellten Studien zeigt sich, dass auch mittels multi-domäner Trainingsansätze (hohe Komplexität), insbesondere unter Verwendung von Fahrsimulatoren, Verbesserungen des Fahrverhaltens und Steigerung des kognitiven Leistungsniveaus nachgewiesen werden konnten.

Wie bisher aufgezeigt, unterscheiden sich die kognitiven Trainingsansätze sehr stark. Deshalb ist es wichtig zu überprüfen, welche Ansätze den grössten Nutzen für die betroffene Lenkergruppe haben. In zwei Review Arbeiten wurden unterschiedlichste Trainingssettings bezüglich des altersbedingten kognitiven Abbaus gesammelt und die Probleme und Möglichkeiten unterschiedlicher Trainingsansätze diskutiert. Zusammengefasst kann aus diesen beiden Reviews erschlossen werden, dass einerseits multi-domäne Trainingsansätze weiter zu erforschen sind, auch unter Verwendung neurowissenschaftlicher Methoden und andererseits in multi-domänen Trainingsmassnahmen ein grosses Potential in Bezug auf Erhaltung uneingeschränkter Eigenständigkeit im hohen Erwachsenenalter enthalten sein könnte (Lustig et al. 2009; Zelinski 2009).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass kognitive Funktionseinbussen älterer Kraftfahrer mittels kognitiver Trainings reduziert

werden können und einen positiven Einfluss auf das Fahrverhalten haben. Hierbei ist es wichtig zu erforschen, welche kognitiven Trainings (uni vs. multi-domän) effizienter sind. Dabei sollte der Fokus auf kognitive Leistungsbereiche gelegt werden, aber auch auf das reale Fahrverhalten. Zudem ist es von grosser Bedeutung die positiven Veränderungen auf Verhaltensebene in Zusammenhang mit neuronaler Plastizität zu erforschen (mehr zu diesem Thema in Kapitel 1.4).

### **1.3 Inhibitionsleistung im Alter**

Eine wichtige kognitive Leistung für eine korrekte Verkehrsteilnahme erscheint die Fähigkeit, die Aufmerksamkeit auf verkehrsrelevante Informationen lenken zu können und dabei verkehrsirrelevante Information zu unterdrücken. Leistungen der Aufmerksamkeitskontrolle sowie ein dynamisches Monitoring ermöglichen eine Selektion von verschiedenen sich konkurrierender Informationen (Interferenzleistung). So werden korrekte Informationen aufgenommen und verarbeitet, wodurch ein korrektes und schnelles Verhalten in einer bestimmten Situation resultieren kann (Summala 1996; Wild-Wall et al. 2008). Diese Leistungen können eng mit dem Begriff der exekutiven Funktionen in Verbindung gebracht werden, unter welchen sich die Inhibitionsleistung bzw. Interferenzleistung unterordnen lassen (Tisch et al. 2004). Es gibt verschiedene inhibitorische Paradigmen. Einige davon werden in diesem Kapitel beschrieben, da sie im Zusammenhang kognitiver altersbedingter Funktionseinbussen häufig beschrieben werden.

Der Interferenzeffekt wird bei der Stroop Aufgabe beschrieben. Die Interferenzleistung ist die Fähigkeit eine dominante Information, welche eine automatisch-neuronale Prozessierung aktiviert, zu unterdrücken, um ein Verhalten auf eine neue und nichtdominante Information auszuführen. Die Interferenzleistung wird anhand von Reaktionszeitunterschieden zwischen kongruenten und inkongruenten Stimuli gemessen (kongruent wenn das Wort „rot“ in rot geschrieben; inkongruent wenn das Wort „rot“ in blau geschrieben). Die Aufgabe besteht darin, die Farbe zu nennen, in der das Wort geschrieben ist. In der Kongruenzaufgabe kann das Wort prinzipiell auch gelesen werden, um eine korrekte Antwort zu geben, in der inkongruenten Aufgabe muss diese Funktion jedoch aktiv unterdrückt werden, um eine korrekte Aussage zu machen

(Hanslmayr et al. 2008). Andere Inhibitionsaufgaben sind beispielsweise die negative Priming und Flanker Aufgabe. Bei Ersterer wird auf unbewusster Ebene beim Bearbeiten einer Aufgabe ein Distraktor-Stimulus verwendet, um Reaktionszeitunterschiede zu messen (Andrés et al. 2008). Bei der Flanker Aufgabe werden zeitgleich zusätzlich zu einem Zielreiz saliente Distraktoren oder gleiche Reize wie der Zielreiz präsentiert. Auch hier ergibt sich wieder aus der Reaktionszeitdifferenz der Einfluss des Distraktors, durch welchen sich die Inhibitionsleistung ergibt (Wild-Wall et al. 2008). In einer Arbeit von Andrés et al. (2008) wurden unterschiedliche Inhibitionsmechanismen bezüglich ihrer Veränderung im Alter untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die willentliche Unterdrückung einer bewussten Handlung (Stroop, Go-Nogo) altersabhängig ist, wobei auf unbewusster Ebene (negative Priming Aufgabe) keine Altersunterschiede gefunden wurden. Die Autoren schlussfolgern, dass es generell unterschiedliche Prozesse geben muss für inhibitorisches Verhalten und postulieren einen exekutiven inhibitorischen altersabhängigen und einen automatisierten inhibitorischen altersunabhängigen Prozess. Die automatische Inhibition ist keiner bewussten Kontrolle unterstellt und steht laut den Ergebnissen somit nicht in Zusammenhang mit altersbedingten Abbauprozessen (Andrés et al. 2008). Wildwall et al. (2008) verglichen junge und alte Personen hinsichtlich der Interferenzleistung bei einer Flanker Aufgabe. Sie konnten eine generelle Verlangsamung, jedoch keine Einschränkung der Inhibitionsleistung nachweisen. Die älteren Probanden lösten dabei die Aufgabe mit weniger Fehler. Sie führen die Effekte der Verlangsamung auf eine reduzierte PS Leistung zurück, und die fehlenden Interferenzunterschiede auf eine gesteigerte Aufmerksamkeitszuwendung der älteren Versuchspersonen.

Grundsätzlich ergeben sich Hinweise, dass auch bei exekutiven Funktionen altersbedingte Funktionseinbussen bestehen, welche durchaus eine kraftfahrtspezifische Wichtigkeit haben können.

### **1.4 Neuronale Entwicklung im Alter**

Die altersbedingten kognitiven Funktionseinbussen und der Zusammenhang zu reduzierter Fahrleistung (unsicheren Fahrverhaltens, Verkehrsunfällen, Fahrfehlern etc.) wurden bereits in vorigen Kapiteln ausführlich beschrieben. In

diesem Kapitel wird eine kurze Übersicht der altersbedingten Hirnentwicklung gegeben, ohne dabei auf Details oder neurodegenerative Erkrankungen einzugehen, damit anschliessend neurophysiologische Erkenntnisse hinsichtlich älterer Kraftfahrer beschrieben werden können.

In einer kürzlich publizierten Arbeit wurden Hirnstrukturen von über 500 Personen über eine Altersspanne von 19-86 Jahren verglichen. Einerseits zeigten die Volumenvergleiche (gray matter) eine nichtlineare Abnahme von Neuronen, insbesondere in kortikalen Hirnstrukturen des medialen Temporallappens, eine subkortikale Struktur der Basalganglien (Striatum) und Teile des Cerebellums. Die Autoren vermuten, dass die Abnahme in diesen einzelnen Hirnstrukturen eine gemeinsame Ursache haben könnte. Den Zusammenhang vermuten die Autoren in der Fähigkeit Verhaltensanpassungen umzusetzen. Die Verhaltensanpassung steht in engem Zusammenhang von Lernen und Gedächtnisfunktionen sowie der Ausführung (prozedurales Gedächtnis: Skills und Gewohnheiten) von einmal erworbenen Fertigkeiten (Ziegler et al. 2012). Diese Interpretation (Abbau Hirnstruktur, Reduktion von Verhaltensanpassung) zeigt gerade die Relevanz neuronaler altersbedingter Veränderungen im Hinblick auf eine sichere Verkehrsteilnahme. In einem früher erschienenen Reviewartikel wurden die bisherigen Erkenntnisse über die gesunde Hirnentwicklung anhand bildgebender Verfahren zusammengetragen. Es wurde die eben gemachte Vermutung (prozedurales Gedächtnis) bereits beschrieben, wobei neben dem linken Hippocampus erneut das Striatum (Nucleus Accumbens) als kritische Hirnstrukturen beschrieben wurden (Jäncke 2009). Zusammenfassend ergeben sich somit Hinweise, dass fehlendes Lernen von neuen Inhalten im Kontext neuronaler Abbauprozesse steht. Mit einer fMRI<sup>4</sup> Studie konnten Dahlin et al. (2008) durch ein spezifisches Training (Updating) bei jungen Teilnehmern zeigen, dass aufgrund striataler Aktivierung ein Transfer Effekt im Arbeitsgedächtnis resultierte. Bei den älteren Teilnehmern konnte weder eine striatale Aktivierung vor dem Training noch ein Transfereffekt durch das Training beobachtet werden. Doch zeigte sich auch eine striatale Aktivierung bei den älteren Probanden nach dem Training beim Lösen einer Gedächtnisaufgabe (Dahlin et al. 2008). Dies ist ein Hinweis, dass unterschiedliche plastische Prozesse bei jungen und älteren

---

<sup>4</sup> functional Magnetic Resonance Imaging

Probanden bei demselben Training resultieren und die plastischen Veränderungen mit dem Alter abnehmen.

### 1.4.1 Neuronale Korrelate und Fahrleistung älterer Kraftfahrer

In diesem Kapitel wird ausschliesslich Literatur beschrieben, durch welche Informationen mit der bildgebenden Methode der Elektroencephalografie (EEG) hinsichtlich neuronaler Aktivierungsmuster möglich sind. Die hier aufgeführten Studien fokussieren auf das kognitive Leistungsniveau und der diesem zugrunde liegenden Hirnaktivierung im Kontext einer Verkehrsteilnahme. Zudem werden zwei wichtige Begriffe eingeführt: mentale und neuronale Auslastung (engl.: mental and brain workload).

Bereits Summala (1996) beschrieb, dass es zwischen der Komplexität des Verkehrskontextes und den geistigen Anforderungen einen Zusammenhang gibt. Wird die Verkehrssituation sehr anspruchsvoll wird das Fahrverhalten angepasst oder ein Fahrfehler resultiert. In diesem Kontext kann unter den geistigen Anforderungen die Summe aller kognitiven Funktionen verstanden werden, welche in dieser Arbeit als *mentale Auslastung* bezeichnet werden. Hakamies-Blomqvist et al. (1999) haben in diesem Zusammenhang bereits erkannt, dass bei älteren Kraftfahrern die mentale Auslastung schnell erschöpft ist was dazu führt, dass das Fahrverhalten unter Nutzung von Kompensationsstrategien angepasst wird. Dieses Konzept wurde mit einer kürzlich durchgeführten Arbeit unter Verwendung eines Fahrsimulators untersucht. Junge und ältere Kraftfahrer fuhren in einem Fahrsimulator, wobei zur Kontrolle der mentalen Auslastung der Verkehrskontext variierte. Die Verkehrssituation war unterschiedlich komplex (gerade Strecke, Kreuzung, Überholmanöver) und der Schwierigkeitsgrad variierte (unterschiedliche Strassenbreite und Verkehrsteilnehmerfrequenz). Während der Fahrt sollte auf ein akustisches Signal geantwortet werden. Es konnte gezeigt werden, dass mit zunehmender mentaler Anforderung die Antwortzeiten auf das akustische Signal bei den älteren Kraftfahrern stärker anstieg als bei den jungen Lenker. Die gefahrene Geschwindigkeit der älteren Gruppe war deutlich tiefer und sie drückten häufiger auf das Bremspedal als die jungen Lenker. Doch beide Lenkergruppen zeigten mit zunehmender mentaler Auslastung schlechtere Leistungen (Cantin et al. 2009).

Die neuronale Auslastung wird ausführlich im Kapitel 2.2.3 beschrieben. Hier genügt es vorerst zu wissen, dass mit zunehmender neuronaler Auslastung die geistige Beanspruchung (mentale Auslastung) für das Lösen einer Aufgabe gemeint ist (Gevins et al. 1997; Gevins et al. 1998; Gevins, Smith 2000). In diesem Zusammenhang haben Lei und Roetting (Lei, Roetting 2011) eine Fahrsimulator Studie konzipiert. Die Stichprobe beinhaltete junge Kraftfahrer mit einem Durchschnittsalter von 27.8 Jahren. Während den Fahrten am Simulator wurde ein EEG abgeleitet, um die neuronale Auslastung messen zu können. Es wurden zwei unterschiedliche Manipulationen für die Kontrolle der mentalen Auslastung benutzt. Erstens wurde eine Arbeitsgedächtnisaufgabe mit drei Schwierigkeitsstufen (0 – 3 back Aufgabe) und zweitens wurden drei unterschiedliche Fahraufgaben von den Probanden verlangt (passives Zuschauen während Fahrt, aktives Fahren mit 75 km/h und 100km/h). Die Aufgabe der Teilnehmer bestand einerseits darin die Arbeitsgedächtnisaufgaben zu lösen sowie die Geschwindigkeit einzuhalten, und andererseits mussten sie dazu noch eine Spurwechselaufgabe bewältigen. Die Ergebnisse zeigten, dass mit zunehmender Arbeitsgedächtnis- sowie Fahrverhaltensaufgabenschwierigkeit ein immer ungenauer werdender Spurwechsel resultierte. Gleichzeitig mit der neuronalen Auslastung stieg auch die Ungenauigkeit im Spurwechsel und beide Masse zeigten einen Zusammenhang zu beiden Bereichen der Manipulation der mentalen Auslastung. Diese Befunde konnten durch eine weitere Studie mit ähnlichem Design repliziert werden (Borghini et al. 2012).

Diese Studien zeigen, dass die neuronale Aktivität in Zusammenhang zur Komplexität des Verkehrskontextes und des Fahrverhaltens steht. Wenn die neuronale Auslastung ansteigt, nimmt auch die Komplexität des Verkehrskontextes bzw. Aufgabenstellung (mentale Auslastung) zu und die Anfälligkeit von Fahrfehlern wird wahrscheinlicher. Dadurch lassen sich neue Erkenntnisse über die Hirnaktivierung und des Fahrverhaltens gewinnen. Die hier beschriebene Literatur zeigt, dass es für eine korrekte Verkehrsteilnahme wichtig ist, dass mentale Ressourcen nicht überlastet werden sollten, weil dann das Fahrverhalten nicht mehr fehlerfrei ausgeführt werden kann. Die mentale Auslastung kann auch auf neuronaler Ebene gemessen werden. Dieses Wissen wird in dieser Dissertationsschrift genutzt, um neuronale Veränderungen bei



unterschiedlichen Trainingsansätzen sichtbar zu machen.

## **2 Methode**

### **2.1 Stichprobe**

Mit einem Zeitungsartikel und Zeitungsinserat wurden ältere Kraftfahrer über den Beginn der Studie informiert. Insgesamt zeigten 244 ältere Kraftfahrer Interesse bei der Studie teilzunehmen und erhielten die Studieninformationen und Fragebogen zu Gesundheitszustand und Fahrverhalten (Anhang 1). Schlussendlich wurden 91 Versuchspersonen in die Studie aufgenommen.

Die Versuchspersonen wurden nicht finanziell entschädigt, erhielten aber nach ihrer Teilnahme ein schriftliches Dokument über ihre unterschiedlichen Leistungsbereiche. Vor der Datenerhebung wurden die Versuchspersonen randomisiert einer von drei Gruppen zugeteilt. Der Simulator Trainingsgruppe (SimG) wurden 39 Versuchspersonen, der kognitiven Trainingsgruppe (KogG) und der Kontrollgruppe (KG) jeweils 26 Versuchspersonen zugeteilt. Der komplette Datensatz nach Abschluss der Datenerhebung beinhaltete 77 Datensätze. Das Durchschnittsalter betrug  $72.36 \pm 5.61$  (62 - 87) und 71.4% waren männliche Versuchspersonen. 14 Personen beendeten ihre Teilnahme vorzeitig. In der SimG beendeten 7 Versuchspersonen (6 weiblich) aufgrund von Übelkeit ihr Training vorzeitig und eine Person brach aufgrund von Überforderung ab. In den beiden anderen Gruppen brachen jeweils 3 Versuchspersonen (jeweils 2 weiblich) vorzeitig ab.

### **2.2 Messverfahren**

Die Probefahrt wurde mit dem eigenen Fahrzeug durchgeführt. Die Fahrleistung wurde von einem Fahrberater mittels eines Bewertungskatalogs (Anhang 2) direkt nach der Fahrt bewertet. Zur Erfassung des kognitiven Leistungsniveaus wurde eine computerbasierte Testbatterie verwendet. Die Aufgaben wurden über einen 15" Bildschirm präsentiert. Die Aufgaben wurden über eine Probandenpanel gelöst (Schuhfried n.d.). Die KogG führte auch das Training an diesem System durch. Die Versuchspersonen der SimG absolvierten ihr Training an einem Fahrsimulator Typ "Trainer F12PT-1L40", Software-Version 12,

Dr. Foerst GmbH, 32" Samsung Bildschirm, (siehe auch: Jäncke, Klimmt (2011)). Der Fahrsimulator-Fahrstand verfügte über eine Steuerrad, Zündschlüssel, Armaturenbrett, Blinker, Voll und Abblendlicht, Scheibenwischerschalter, Gas-, Kupplungs- und Bremspedal sowie eine Schaltknauf. Die Software verfügte über bestehende Szenarien und speicherte automatisch ein Logfile über die einzelnen Fahrten. Drei Inhibitionsaufgaben wurden in einer EEG Kammer an einem 17" Bildschirm gelöst. Die EEG Paradigmen wurden mit einer Software programmiert (Neurobehavioral Systems, Albany, Canada) und über eine Schnittstelle mit der EEG Software synchronisiert (Brain Products GmbH, Deutschland). Die EEG Signale und Augenbewegungen wurden über einen QuickAmp Verstärker aufgezeichnet. Insgesamt 64 EEG Kanäle und zwei Augenkanäle wurden mit einem 16 bit A/D Wandler mit 500Hz aufgenommen (BrainVision Recorder Software). Die Impedanzen ( $30k\Omega$ ) aller Elektroden wurden gemittelt referenziert. Es wurden Ag/AGCl Aktiv-Elektroden (ActiCap, Brain Products; Deutschland) verwendet und in einem 10-20 EEG System (EasyCap) positioniert. Die Erdungselektrode war bei Position AFz.

### **2.2.1 Fahrleistung**

Die Fahrleistung wurde mit einem Bewertungsbogen (Anhang 2) beurteilt. Die Probestrecke war 25 km lang und beinhaltete alle Verkehrskontexte (Stadt, innerorts, Quartier, Überland, Autobahn). Der Fahrberater war verblindet und befand sich auf dem Beifahrersitz. Bei jeder Fahrt befand sich auf dem Rücksitz ein Studienverantwortlicher der die Verblindung kontrollierte. Sieben unterschiedliche Dimensionen wurden mittels des Bewertungsbogens ausgefüllt. Pro Dimension hatte es zwischen 6-8 Items (5-Punkte Skala: 1 = sehr ungenügend, 5 = sehr gut).

### **2.2.2 Wahrnehmungsleistung**

Die verwendete Testbatterie (Expertensystem Verkehr XPSV, Schuhfried GmbH) ist im deutschsprachigen Raum weit verbreitet (Schuhfried 2005). Sie gilt als standardisiertes und gut normiertes Messinstrument zur Vorhersage des Bestehens oder Nichtbestehens einer Probefahrt (Sommer et al. 2008). Die folgende Tabelle 1 gibt einen kurzen Überblick über die enthaltenen Tests und deren zugrundeliegendes kognitives Paradigma.

Table 3: Expertensystem Verkehr XPSV, Schuhfried

Tests	Kognitives Paradigma	Abhängige Variable	Reliabilität	Literatur
Reaktionstest (RT)	Einfache Wahlreaktionsaufgabe	Entscheidungszeit, motorische Zeit (DS, MS)	DS = .94 MS = .98	(Schuhfried, Prieler 1997)
Cognitrone (COG)	Selektive Aufmerksamkeit	Korrekte Antworten, Antwortdauer (CIAn)	.95	(Wagner, Karner 2001)
Determinationstest (DT)	Komplexe Wahrreaktionsaufgabe	Korrekte Reaktionen (CR)	.98	(Schuhfried 1998)
Periphere Wahrnehmung (PP)	Gesichtsfeld, geteilte Aufmerksamkeit	Winkeldimension (FV), Trackingabweichung (DA)	FV = .96 DA = .98	(Schuhfried et al. 2002)
Tachistoskopischer Verkehrsauffassungstest (ATAVT)	Perzeptive Geschwindigkeit	Korrekte Antworten (PS)	.80	(Sommer et al. 2008)
Matrizen-Test (AMT)	Fluide Intelligenz	Korrekte Antworten (FI)	.70	(Hornke et al. 2003)

### 2.2.3 Brain Workload

Während die Versuchspersonen die Inhibitionsaufgaben (Stroop, negatives Priming, Flanker) lösten, wurde die neuronale Aktivität mittels EEG aufgezeichnet. Basierend auf den Reaktionszeitdifferenzen zwischen den neutralen Aufgaben und den Interferenzaufgaben ergaben sich die Interferenzleistungen auf Verhaltensebene. Die neuronale Auslastung wurde in Anlehnung an Gevins et al. berechnet (1997). Nach Artefaktbereinigung der rohen EEG Daten wurden die EEG Daten stimulusbezogen (-500, 1500ms) in zwei Sekunden lange Segmente unterteilt und für jedes Segment eine Fast Fourier Transformation (FFT) durchgeführt. Es wurden ausschliesslich die Segmente mit korrekten Antworten berücksichtigt. Die einzelnen FFT-Segmente pro Aufgabe und Versuchsperson wurden danach gemittelt und die absoluten Power Spektren für das Theta Frequenzband (4-8 Hz) bei der Elektrode Fz und für das alpha Frequenzband (8-12 Hz) bei der Elektrode Pz exportiert (Gevins, Smith 2000). Im Anschluss wurde für jede Aufgabe pro Versuchsperson das Verhältnis von Fz/Pz als Index für die neuronale Auslastung berechnet (Holm et al. 2009).

Die drei Inhibitionsaufgaben wurden in derselben Reihenfolge vorgegeben wie sie hier beschrieben werden. Erfasst wurden Reaktionszeiten, korrekte und falsche Antworten.

Die Stroop Aufgabe wurde in Anlehnung an Hanslmayr et al. (2008) programmiert. Die Aufgabe beinhaltete blockweise die neutrale Bedingung (z.B.: das Wort „grün“ in der Farbe grün geschrieben) und die Interferenzbedingung (z.B.: das Wort „grün“ in der Farbe rot geschrieben). Die Aufgabe bestand darin, die

Taste mit der dem Stimulus korrespondierenden Farbzusordnung zu drücken. Die verwendeten Farben bzw. Wörter waren rot, grün, blau, gelb. Es wurde pro Bedingung je vier Blöcke mit jeweils 36 Stimuli vorgegeben. Die Stimuli wurden randomisiert vorgegeben, die Bedingungen jeweils abgewechselt. Die maximale Präsentationsdauer war 3 Sekunden, und zwischen den Stimuli wurde ein Fixationskreuz (1 -1.5 Sekunden) eingeblendet.

Die negative Priming Aufgabe wurde von Andrés et al. (2008) übernommen. Die Aufgabe beinhaltete zwei Bedingungen (neutral vs. negatives Priming), wobei für beide Bedingungen zwei Blöcke mit jeweils 56 Stimuli programmiert wurden. Das Stimulusmaterial beinhaltete jeweils ein Buchstabenpaar mit einem Vokal (A, E, O oder U) und Konsonanten (H, K, N oder R), wobei ein Buchstabe rot, der andere grün war. Die Stimuluspräsentation wurde randomisiert vorgegeben. Die Aufgabe bestand darin zu erkennen, welcher Buchstabe des präsentierten Buchstabenpaares in rot präsentiert wurde. In der Bedingung mit dem negativen Priming war jeweils im Durchgang n-1 der grüne Buchstabe (z.B.: R in grüner Farbe) derselbe wie im Durchgang n dem Zielreiz entsprach (R in roter Farbe). Die Präsentationsdauer betrug 500ms, wobei im Anschluss ein weisser Bildschirm für 2.3 – 2.5 Sekunden präsentiert wurde, falls keine Antwort erfolgte. Dazwischen wurde ein Fixationskreuz präsentiert (0.3 – 0.5 Sekunden).

Die Flanker Aufgabe (Salthouse 2010) beinhaltete ebenfalls vier Blöcke. Die neutrale Bedingung (kongruent) und die Inhibitionsbedingung (inkongruent) wurde in den vier Blöcken gemischt randomisiert vorgegeben. Jeder Block enthielt pro Bedingung je 36 Stimuli. Das Stimulusmaterial beinhaltete zwei kongruente („>>>>“, „<<<<“) und zwei inkongruente („><<<“, „<><<“) Stimuli. Die Versuchspersonen mussten jeweils entscheiden, ob der mittlere Pfeil (hier fett) nach links oder rechts zeigt. Die maximale Präsentationsdauer betrug 3 Sekunden mit einem Interstimulusintervall von 1 – 1.5 Sekunden.

### **2.3 Trainingsprozedere**

Jede Versuchsperson absolvierte das Training im Einzelsetting. Die ganze Erhebungszeit dauerte von Mai 2010 – Juni 2012. Es wurden insgesamt 13 Trainingsblöcke mit 3 Versuchspersonen der SimG und je 2 Versuchspersonen der KogG und KG geplant. Ein Trainingsblock dauerte jeweils 7 Wochen, wobei in der

ersten und siebten Woche alle drei Gruppen an jeweils zwei Tagen die Eingangs- und Schlusstestung absolvierten. Die SimG und KogG absolvierten von der zweiten bis zur sechsten Woche zehn Trainingssitzungen. In der ersten, fünften und zehnten Trainingssitzung füllten die Trainingsgruppen einen Motivations- und Emotionsregulationsfragebogen aus (Anhänge 3 und 4). Die SimG füllte in denselben Sitzungen noch einen Fragebogen zu Kinetosen (Simulatorübelkeit) aus (Anhang 5). In diesen fünf Wochen hatte die KG keinen Kontakt.

Der Ablauf der Eingangstestung (erste Woche) war so gestaltet, dass die Versuchspersonen am ersten Tag die kognitive Testbatterie bearbeiteten (eine Stunde) und danach die Probefahrt absolvierten (1 Stunde). Am zweiten Testtag wurden die Inhibitionsaufgaben gelöst und das EEG abgeleitet (2 Stunden). Bei der Schlusstestung (siebte Woche) wurde am ersten Tag das EEG abgeleitet und die Inhibitionsleistung erfasst. Am letzten Tag wurde zuerst wieder die Testbatterie vorgegeben und danach mit der Probefahrt abgeschlossen.

### **2.3.1 Multi-domänes Fahrsimulator-Training**

Eine Trainingssitzung dauerte 40 Minuten. Danach erfolgte eine kurze Rückmeldung über den Trainingsverlauf (Anzahl Fehler und Reaktionszeiten). Die Versuchspersonen fuhren aktiv in unterschiedlichen Szenarien und wurden durch eine computerbasierte Stimme instruiert, welchen Weg sie pro Szenario befahren sollen. Zusätzlich wurden sie vom Versuchsleiter aufgefordert, sich an die geltenden Verkehrsvorschriften zu halten.

In der ersten Trainingssitzung hatte es keinen Verkehr und die Komplexität war minimal. Diese Sitzung diente dazu, dass sich die Versuchsperson mit dem Fahrsimulator vertraut machen konnte. Danach wurde die Schwierigkeitsstufe sukzessive erhöht. In Anlehnung an die Literatur wurden Verkehrsdichte, Komplexität des Verkehrskontextes (Cantin et al. 2009) und Anzahl Gefahrenmomente sukzessive erhöht (Horswill et al. 2008) sowie der visuelle Kontrast (Ross et al. 2009) reduziert (Simulation schlechter Wetterbedingungen wie Nebel- oder Regenfahrten, Nachtfahrten). Insgesamt wurden sechs unterschiedliche Szenarien benutzt (Vorstadt, Stadt, Überland, Autobahn Fahrten oder Überholmanöver und Beachtung besonderer Verkehrsvorschriften).

Es wurden pro Trainingssitzung zwischen 4 – 5 verschiedene Szenarien vorgegeben, wobei keine dieser Szenarien länger als 15 Minuten dauerte. Für den Fall, dass ein Szenario aufgrund langsamer Fahrweise der Versuchsperson nach 15 Minuten noch nicht beendet war, wurde die Fahrt abgebrochen und die nächste Fahrt gestartet. Das Trainingssetting konnte mit Ausnahme von einem Teilnehmer (Abbruch) von allen Teilnehmern eingehalten werden.

### **2.3.2 Uni-domänes kognitives Training**

Die Trainingsdauer betrug 40 Minuten, worauf ein kurzes Feedback erfolgte (erreichte Schwierigkeitsstufe, Reaktionszeiten und Fehlerzahl). Die Versuchspersonen saßen vor einem Bildschirm auf einem Stuhl und sahen während dem Training zwei unterschiedliche Simulationen. Eine Simulation war so gestaltet, dass die Versuchsperson als Motorradlenker fungierten (Alertness-Training). Bei der anderen Simulation waren die Versuchspersonen Lenker eines Personenkraftwagens (Vigilanz-Training). Bei beiden dieser Szenarien waren die Versuchspersonen zwar aktiv in das Training involviert, aber lenkten die Fahrzeuge nicht selber. Sie hatten während den inner- sowie ausserstädtischen Fahrten aktiv auf das Verkehrsgeschehen zu achten (kognitive Aufgaben). Es wurde jeweils das Alertness Training vor dem Vigilanz Training absolviert.

Das Alertness Training (Hauke et al. 2011) war so gestaltet, dass unterschiedliche Objekte (Fahrzeug, Stein- oder Holzschlag, Barriere Bahnübergang, Reh oder Pferd, Lichtsignal) in einer randomisierten Anordnung in Strassennähe auftauchten. Dabei war es jedoch nicht sicher, dass das Objekt auch eine Reaktion der Versuchsperson forderte. Die Versuchsperson sollte nur im Falle, dass eine Notbremsung notwendig war (z.B.: Barriere bei Bahnübergang schliesst sich) eine Taste drücken. Bei ausreichend korrekten Reaktionen (richtige Reaktionen, keine falsche oder verzögerte oder antizipierte Antwort) wurde die Schwierigkeitsstufe erhöht. Die Erhöhung der Schwierigkeitsstufe erfolgte über eine schnellere Fahrweise, so dass die zur Verfügung stehende Antwortzeit immer kürzer wurde. Es wurden für jeweils 10 Minuten zwei Alertness Bedingungen vorgegeben: Intrinsische (schlechter Kontrast) und phasische Alertness (guter Kontrast).

Das Vigilanz Training beinhaltete die Aufgabe, dass auf einer geraden Strecke

fahrend, der eigene Kraftwagen von einem anderen Kraftwagen überholt wurde. Dieses Training dauerte 20 Minuten. Bei einigen der Kraftwagen die überholt haben, leuchteten nach dem Spurwechsel die Bremsleuchten, worauf die Versuchsperson aufgefordert war mittels Tastendruck zu reagieren. Falls keine Reaktion erfolgte, blinkten die Rückleuchten (verzögerte Antwort), bevor der Kraftwagen davon fuhr (Auslassung). Bei ausreichender Anzahl korrekter Antworten wurde die Schwierigkeitsstufe dadurch erhöht, dass die Frequenz der Überhohlmanöver sowie die Stimulation der Umgebungsvariablen (Häuser, Bäume etc.) abnahmen.

### **2.3.3 Kontrollgruppe**

Die Versuchspersonen der Kontrollgruppe hatten während der Trainingszeit der SimG und KogG bis auf die Prätestwoche (erste Woche) und Posttestwoche (siebte Woche) keinen Kontakt mit den Studienverantwortlichen. Sie erhielten im Anschluss der siebten Woche jedoch das gleiche Training angeboten wie die SimG. Nachdem sie das Training absolviert hatten, wurde auch in dieser Gruppe der Trainingsfortschritt mittels erneuter Probefahrt, Testbatterie und EEG Ableitung aufgezeichnet. Diese Daten wurden jedoch nicht im Zusammenhang dieser Trainingsstudie berücksichtigt.





### 3 Original Publikationen

#### 3.1 Publikation 1: The drive-wise project: Driving Simulator Training increases real driving performance in healthy older drivers

frontiers in  
AGING NEUROSCIENCE

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE  
published: 13 May 2014  
doi: 10.3389/fnagi.2014.00085



## The drive-wise project: driving simulator training increases real driving performance in healthy older drivers

Gianclaudio Casutt<sup>1,2,3\*</sup>, Nathan Theill<sup>4</sup>, Mike Martin<sup>5,6</sup>, Martin Keller<sup>1,7</sup> and Lutz Jäncke<sup>1,3,5,8\*</sup>

<sup>1</sup> Division of Neuropsychology, Department of Psychology, University of Zurich, Zurich, Switzerland

<sup>2</sup> Division of Gerontopsychology, Department of Psychology, University of Zurich, Zurich, Switzerland

<sup>3</sup> International Normal Aging and Plasticity Research Centre Zurich, Zurich, Switzerland

<sup>4</sup> Division of Psychiatry Research, University of Zurich, Zurich, Switzerland

<sup>5</sup> University Research Priority Program "Dynamics of Healthy Aging," University of Zurich, Zurich, Switzerland

<sup>6</sup> Center for Gerontology, University of Zurich, Zurich, Switzerland

<sup>7</sup> Department of Neurology, Rehabilitation Centre Valens, Valens, Switzerland

<sup>8</sup> Department of Special Education, King Abdulaziz University, Jeddah, Kingdom of Saudi Arabia

#### Edited by:

Harnet Ann Allen, University of Nottingham, UK

#### Reviewed by:

Asger Zaheer, University of Iowa Hospitals and Clinics, USA  
David Crundall, Nottingham Trent University, UK

#### \*Correspondence:

Gianclaudio Casutt and Lutz Jäncke, Division of Neuropsychology, Department of Psychology, University of Zurich, Binzmühlestrasse 14/25, Zurich CH-8050, Switzerland  
e-mail: g.casutt@psychologie.uzh.ch; ljaencke@psychologie.uzh.ch

**Background:** Age-related cognitive decline is often associated with unsafe driving behavior. We hypothesized that 10 active training sessions in a driving simulator increase cognitive and on-road driving performance. In addition, driving simulator training should outperform cognitive training.

**Methods:** Ninety-one healthy active drivers (62–87 years) were randomly assigned to one of three groups: (1) a driving simulator training group, (2) an attention training group (vigilance and selective attention), or (3) a control group. The main outcome variables were on-road driving and cognitive performance. Seventy-seven participants (85%) completed the training and were included in the analyses. Training gains were analyzed using a multiple regression analysis with planned orthogonal comparisons.

**Results:** The driving simulator-training group showed an improvement in on-road driving performance compared to the attention-training group. In addition, both training groups increased cognitive performance compared to the control group.

**Conclusion:** Driving simulator training offers the potential to enhance driving skills in older drivers. Compared to the attention training, the simulator training seems to be a more powerful program for increasing older drivers' safety on the road.

**Keywords:** cognitive training, training effects, driving simulator, on-road driving performance, cognitive performance

#### INTRODUCTION

Due to the changing age structure in industrial countries more and more older drivers (>65 years) will drive a car on public roads either for the sake of mobility, leisure activities, or business reasons. However, there is ample evidence that on average driving performance declines and crash risks increase with increasing age (Lyman et al., 2002; Casutt et al., 2013). This decline in driving performance is also associated with a decline in perception (sensory functions), cognition (perceptual speed, higher order cognitive functions) and physiological functions as well as medical conditions (Anstey et al., 2005). Many driving errors result as a consequence of a reduction in cognitive performance, which however should be improved by training and practice (Anstey and Wood, 2011). Thus, there is growing interest in many countries to cope with increasing crash risks and decreasing driving performance in older drivers (OECD, 2001). Many strategies have been proposed so far to reduce age-related crash risks comprising specific educational programs (Stalvey and Owsley, 2003; Owsley et al., 2004; Baldock et al., 2008), withdrawal of the driving license at a particular age (Langford et al., 2004), or training cognitive functions supposed to underlie driving performance (Roegner et al., 2003; Edwards et al., 2009a,b; Ball et al., 2011).

Cognitive training regimes in older adults have consistently demonstrated improvements in the trained cognitive tasks (e.g., Karbach and Kray, 2009; von Bastian et al., 2013). However, most of these studies demonstrated transfer effects only to very similar tasks (near transfer) (Lustig et al., 2009), and virtually no transfer to other domains (far transfer; Lustig et al., 2009; Zelinski, 2009). However, the complexity of cognitive training approaches seems to be an important variable influencing far transfer of cognitive training. In fact, several studies showed that the complexity of the cognitive training increases far transfer to other cognitive domains (Basak et al., 2008; Karbach and Kray, 2009; Marmeleira et al., 2009) most likely because several cognitive functions are simultaneously trained.

In line with these findings and focusing on driving problems in older subjects there is evidence that training of particular cognitive functions can exert beneficial effects on the driving behavior. Cassavaugh and Kramer (2009) found in their driving simulator study that cognitive performance was associated with driving simulator performance. Furthermore, practicing several cognitive functions (including sensorimotor control, selective attention, working memory, and dual tasking) for eight sessions across several days resulted in improved

driving performance (lane change, distance from the vehicle ahead, less driving errors, shorter reaction time). A further set of studies explored the effects of a "speed of processing training" on driving performance and identified improved performance in driving-related functions like UFOV (useful field of view), driving safety (Roemer et al., 2003), or reduced number of crashes (Ball et al., 2011) as well as number of self-reported driving difficulties (Edwards et al., 2009a,b). Interestingly, in some studies the cognitive training regimes resulted in long-lasting beneficial influences on driving behavior. For example, in the Roemer et al. (2003) study positive effects have been identified 18 months after the cognitive training. Ball et al. (2011) even reported reduced number of crashes in an observation period of 5 years.

A further strategy to improve driving performance in older adults is to practice *active* driving on a driving simulator. Simulators are frequently and intensively used in the context of various transportation situations (rail, aviation, maritime transport, space travel) especially where vehicles are very expensive in relation to a simulator. Lees et al. (2010) postulated in their review that driving simulators offer important opportunities for an efficient and valid training (interactivity, complexity, simultaneous use of different domains) not only for novice drivers, but also for older drivers.

As described above cognitive training (e.g., speed of processing) positively influences driving related variables like reduction of dangerous maneuvers, driving cessation, and driving errors (Roemer et al., 2003; Edwards et al., 2009a,b; Ball et al., 2011). Additionally, several studies have been published so far using driving simulator training approaches to improve specific and accident related driving behaviors in older adults. In older drivers reduced hazard perception was associated with reduced UFOV performance (Horswill et al., 2008). Hazard perception training in a driving simulator resulted in faster anticipation of hazardous traffic situations (Horswill et al., 2010). Other driving simulator studies investigated different aspects of problematic driving behavior (e.g., visual scanning at intersections, use of mirror while overtaking). Romoser and Fisher (2009) trained older drivers visual scanning at intersections with a driving simulator. After simulator training visual scanning (secondary looks) was improved during driving in the simulator and on the road. Furthermore, after training they examined an increase in *Rey-Osterith Complex Figure* test (ROCFT) performance, which is associated with cognitive functions like attention, planning, and working memory (executive functions). The improved performance for "secondary looks" was observed in a follow-up 2 years later (Romoser, 2013). In another driving simulator study the use of side and rear mirrors while overtaking were trained in a sample of older drivers. Following the training, frequency of blind spot inspection increased in comparison to a training group who received no feedback (Lavallière et al., 2012). Taken together different aspects of the driving performance in older drivers (e.g., visual scanning in intersection, hazard perception, use of mirror during lane change, visuo-spatial memory) can be improved with appropriate driving simulator training (Romoser and Fisher, 2009; Horswill et al., 2010; Lavallière et al., 2012). These studies have also shown that driving simulator

training can positively influence very specific aspects of cognition (e.g., executive functions) (e.g., Romoser and Fisher, 2009).

While these studies have shown that driving simulator and cognitive training regimes both do have the potential to change very specific aspects of driving (and cognition) we are more interested to examine whether general driving performance differentially benefits from a driving simulator or cognitive training. The cognitive training was designed to practice cognitive functions, which have been shown to be essential for effective driving (e.g., vigilance and selective attention) (Anstey et al., 2005; Selander et al., 2011; Casutt et al., 2014). Different to the aforementioned studies we were interested to examine whether our driving simulator training improves real on-road driving in general and not behavior in specific driving situations (e.g., visual scanning in intersection, use of mirrors during lane change). Our driving simulator training approach (practicing driving through towns, on highways, rural roads with changing traffic situations etc.) was based on a practical everyday behavior. Therefore, the used scenarios were comparable to on-road driving, which is a complex behavior and needs several psychological functions (Hakamies-Blomqvist, 1994). Our training approach is similar to multi- or dual-task training approaches, which have been shown to be more effective than single-task training (Basak et al., 2008; Marmeleira et al., 2009; Anguera et al., 2013). Real driving is a highly demanding task requiring the orchestration of many psychological functions to process many information simultaneously (traffic observation, speed control, scanning for hazard events, traffic rules, car handling). If demands increase, also the likelihood of driving errors increase (Holm et al., 2009). The relation between reduced multitasking ability and unsafe driving in older drivers and the use of compensatory strategies is well known (Sheridan, 2004; Cantin et al., 2009). Therefore, our training approach for the driving simulator training was to increase the multitasking demands in a realistic way.

Since on-road driving is difficult to assess and strongly depends on local aspects (e.g., traffic density, specific population, and specific traffic rules) we used a new on-road driving test specifically designed for a major European city (Zurich in Switzerland) with dense traffic to test whether intensive driving simulator training improves real on-road driving. In addition, we were also interested to examine whether an intensive attention training of psychological functions known to be involved in controlling driving might influence real on-road driving performance. In this context we also paid attention to examine whether our driving simulator and cognitive training exert different effects on the on-road driving performance.

Based on the results of the afore-mentioned studies we hypothesize that our driving simulator training will induce stronger improvements in on-road driving than attention training since the driving simulator training needs stronger multitasking skills and seems more attractive than attention training. In addition, we hypothesize that both training regimes (driving simulator and attention training) will improve cognitive performance and on-road driving compared to a no-training control group.

## MATERIALS AND METHOD

## PARTICIPANTS

Participants were recruited via a newspaper articles and a newspaper advertisement about the *Drive-Wise* project. A total of 244 participants indicated interest in study participation. All of them received detailed study information and a short medical condition questionnaire (driving relevant illness, e.g., all kinds of neurological and psychiatric disorders, orthopedic problems of the upper and lower extremities etc.), medication influencing driving (e.g., drug intake influencing the central nervous system), sensory impairment (e.g., visual field < 140°). In addition, the active driving status (annual driving distance, years of possession of driving license, driving context) was assessed with a questionnaire. Participants who did not drive in all common driving contexts (urban, rural, motorway) were excluded. Ninety-one participants agreed to participate in the study and fulfilled all inclusion criteria. It is worth to mention that in Switzerland, drivers older than 70 years must undergo a screening test every 2 years (medical and cognitive screening) for renewal of their drivers' license. All participants had an original valid driver license.

Participants were not financially compensated for their travel expenses or participation, but received a detailed written feedback about performance in cognition and driving after finishing their participation. Before data collection, participants were randomly allocated either to a simulator training condition ( $n = 39$ ), a cognitive training condition ( $n = 26$ ), or a control group ( $n = 26$ ). However, 14 participants dropped out during data collection. Seventy-seven individuals (55 men, 71.4%) with a mean age of  $72.36 \pm 5.61$  (range 62–87) completed the study (Table 1). The three groups were influenced differently by the dropouts. In the simulator training group seven participants (six female) dropped out due to simulator sickness (SS) and one participant stopped due to excessive experimental demands. In the cognitive training group as well as in the control group, three participants (two female per group) finished participation due to time constraints (the entire study lasted for approximately 2 years). Study information for all groups was identical except for the particular information to run the driving simulator and cognitive training. The training setting was not explained in detail. Participants in the control group were offered the simulator training sessions (according to time of training for the two training groups) after finishing their study participation (two assessment evaluations with a 5-week waiting period in between).

This project (*Drive-Wise*) was approved by the Cantonal Ethic-Commission of Zurich, University Hospital of Zurich (KEK-ZH-NR: 2010-0090/0). Furthermore, traffic and police

departments have granted permission to conduct the on-road test assessment. The private car of participants was labeled during the on-road test. According to information by the ethics committee, participants were informed that participation would not impinge on their driving license and that they had permission to terminate the study at any time without any negative consequences.

## EXPERIMENTAL APPARATUS

The on-road test drive was conducted in the participants' private car. Start and end point was always the department of psychology, Zurich. All tests for the cognitive test battery were conducted on a Windows Computer with a 15" screen (resolution  $1280 \times 1024$ ), distance of approximately 40 cm to the participant. Response panel and other hardware were products of Schuhfried GmbH (Schuhfried, n.d.). The training sessions of participants in the attention training group were conducted on that system as well (Phasic and tonic alertness and vigilance; CogniPlus Software from Schuhfried GmbH). Participants in the simulator training group conducted their sessions on a driving simulator type "Trainer F12PT-IL40," software version 12 of Dr. Foerst GmbH, 32" Samsung LCD-screen (resolution  $1920 \times 1080$ ), distance of approximately 70 cm to the steering wheel (Jäncke and Klimmt, 2011). Participants sat in a driver's seat of a *Ford Focus*® equipped with a steering wheel, a starter lock, a tachometer, signals for light and blinker, wiper control switch, clutch, breaking, and throttle pedals as well as gearshift (Figure 1). The software recorded participants driving behavior. The software automatically produced traffic scenarios on a Windows 7 operating system. Moreover there were two operator screens in the same room for controlling the training sessions and giving feedback after training.

## ON-ROAD TEST DRIVING ASSESSMENT

The on-road test drive was conducted on public roads including district and urban streets, suburb and rural roads and a motorway passage with a total length of approximately 25 km. The test track was used as a regular basis for official on-road test exercises. A licensed driving instructor (DI) blinded to condition, sat in the front passenger seat and rated participants driving behavior directly after finishing the driving session. During the ride the instructors made notes about the driving performance, which they used for the final evaluation. The evaluation sheet (*Zurich On-road test Assessment, ZOA*), is a modified version of the formal evaluation sheet used by the DI. The DI was instructed to evaluate only cognitive aspects of driving behavior but not car handling. Seven different dimensions (Table 2) were implemented in the

Table 1 | Demographic characteristics.

Variable	N	Age (years)	Gender		Years of license	km/year	Gearbox		
		M (SD)	Male	Female	M (SD)	M (SD)	A	M	A/M
Simulator training	31	71.74 (5.18)	22	9	49.77 (5.16)	11909 (7338)	14	11	6
Cognitive training	23	72.30 (6.46)	15	8	50.21 (5.95)	8973 (6067)	11	10	2
No training	23	73.26 (5.38)	18	5	51.34 (6.85)	10934 (5079)	8	10	5

A, automatic; M, manual.



ZOA using six to eight items on a 5-point-scale (poor = 1, slightly insufficient = 2, sufficient = 3, good = 4, excellent = 5). An overall on-road driving performance was calculated as the mean of all on-road driving measures. This composite measure was used as dependent variable for the evaluation of on-road driving performance (Cronbach's  $\alpha = 0.95$ ). The internal reliability coefficients for each dimension ranges between 0.62–0.83.

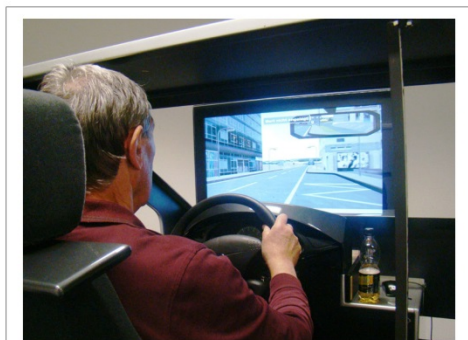


FIGURE 1 | Still photo of the used driving simulator.

#### COGNITIVE TEST BATTERY

This test battery is a well-established and standardized computer-based version of the *Expert System Traffic XPSV* (Schuhfried, 2005) often used as a standard test for evaluating driving-related cognitive performance in European countries (Sommer et al., 2008, 2009, 2010). A recent paper has shown that this test battery explains 50% of the on-road test variance (Risser et al., 2008). Table 3 gives an overview of all subtests.

The *Reaction Test* (RT) is a simple choice reaction time task. From three different stimuli (yellow or red circle and an acoustic signal), participants have to discriminate the simultaneous presentation of the yellow circle and the pitched sound by pushing a corresponding target button with the right index finger as fast as possible. In all other conditions, single yellow or red circle, single pitched sound, combination of red circle and pitched sound, participants have to suppress a movement. Decision speed (DS) is measured in milliseconds by the latency from stimulus onset until lifting off the start button while the physical motor speed (MS) in milliseconds is defined as the movement time from the start button to the target button.

The *Cognitron Test* (COG) measures selective attention. During test administration, different geometrical figures are presented block-wise. Each block comprises 60 trials. During each trial two different stimulus types are presented: four reference stimuli and one test stimulus. The four reference stimuli are presented as an array above the test stimulus. The subject's task is to decide whether the test stimulus is identical to one of the reference

Table 2 | ZOA (Zurich On-road Assessment).

Traffic observation (0.62)*	Speed at intersection (0.78)*	Gaze behavior (0.83)*	Change of direction (0.67)*	District dependent behavior (0.82)*	Use of different speed limits (0.73)*	Lane behavior (0.81)*
Motor vehicle	Intersection	Interior mirror	Turn left/right	District area	Urban streets	Straight ahead
Bicyclist	Lane change	Side view mirror	Lane change	Suburb area	Rural roads	In curves
Pedestrian	Entrance roundabouts	While start-up	Overtaking	Urban area	Knowing of speed limit	Turn left
Anticipation	Exit roundabouts	While stopping	While move along	Town area	Driving on speed limit	Turn right
Ready to slow	Entrance motorway	During lane change	Roundabouts	Rural area	Distance to cars urban streets	On light signals
Right-of-way	Exit Motorway	During overtaking	Entrance motorway	Motorway area	Distance to cars on rural road	Into account of bikes
	Acceleration	While move along	Exit motorway		Distance to cars on motorway	

\*, Cronbach's  $\alpha$ .

Table 3 | Expert System Traffic XPSV Schuhfried.

Tests	Cognitive paradigm	Output variables	Reliability	Literature
Reaction Test (RT)	Simple choice reaction	Reaction time decision (DS) and motor speed (MS)	DS = 0.94 MS = 0.98	Schuhfried and Prieler, 1997
Cognitron (COG)	Selective attention	Correct response, required processing time (CIAn)	0.95	Wagner and Karner, 2001
Determination Test (DT)	Complex choice reaction	Correct reactions (CR)	0.98	Schuhfried, 1998
Peripheral Perception (PP)	Field of vision, divided attention	Angular dimension (FV), tracking deviation (DA)	FV = 0.96 DA = 0.98	Schuhfried et al., 2002
Tachistoscopic Traffic Perception Test (ATAVT)	Perceptual speed	Correct response (PS)	0.80	Sommer et al., 2008, 2009
Matrices Test (AMT)	Fluid intelligence	Correct answer (FI)	0.70	Hornke et al., 2003

stimuli by pressing one of two corresponding buttons (identical vs. different). For task completion there is no time limit. Mean reaction time of correct and incongruent responses are calculated and used as a measure of selective attention (CIAn).

The *Vienna Determination Test* (DT) is used to measure reactive stress tolerance and the related reaction speed. In principle the DT requires to discriminate colors and acoustic signals, to memorize the relevant characteristics of stimulus configurations and response buttons as well as the assignment rules. In addition it is necessary to select the relevant reactions according to the assignment rules laid down in the instructions and / or learned during the course of the test. The difficulty of the DT-Test lies in the production of continuous, sustained rapid and varied reactions to rapidly changing stimuli<sup>1</sup>. During the 4-min test administration each subject works at the limit of his performance ability. The number of correct responses (CR) is the main variable and represents reactive stress.

The *Peripheral Perception Test* (PP) utilizes a field of vision (FV) and divided attention (DA) paradigm. Participants are sitting in front of a computer screen and perform a primary task. Beside the computer vertical panels with diodes are placed on the right and left side. The participants have to keep track of the changing diode in the periphery (secondary task) while performing the primary task. As primary task the participants have to move a cross-wire on a computer screen in order to minimize the position difference of the cross-wire with a computer-controlled moving red ball. Participants have to work simultaneously on the primary and secondary task. Every time when vertical lines appeared in the periphery they are instructed to pressing a foot pedal as fast as possible. DA is measured as the performance in the primary task (tracking deviation). FV is measured as the widest field angle at which the vertical lines of diodes are detected (during the secondary task) with respect to the distance of the screen.

The *Adaptive Tachistoscopic Traffic Perception Test* (ATAVT) is an object perception task. Photographs of traffic situations with different complexity (defined as the number of objects depicted on the photo) are presented for a short time (700–1300 ms). Participants have to decide what types of objects were presented: (1) vehicles, (2) bicycles, (3) pedestrians, (4) road signs, or (5) traffic lights. These objects are presented alone or in groups of up to five objects. The test is administered as a computerized adaptive test (CAT). The number of correctly identified objects weighted by complexity of the photograph is the dependent measure for perceptual speed (PS).

The *Adaptive Matrices Test* (AMT) is a fluid intelligence (FI) test. The stimuli are comparable to classical matrices (e.g., the Raven test). Participants have to identify the figural pattern among eight alternatives.

In previous research an overall index as a composite measure representing cognition performance has been computed on the basis of multivariate classification algorithms (artificial neural networks; NN) (Risser et al., 2008). Based on empirical evidence of Austrian and German practical on-road tests, Schuhfried GmbH categorized this composite measure into five categories.

NN measures  $\geq 4$  indicate an insufficient driving behavior and also indicating that the participant would fail an on-road test. NN measures  $\leq 3$  indicate that the participant would pass the on-road test (Risser et al., 2008; Sommer et al., 2008, 2009, 2010). The NN validly estimates the composite score as demonstrated by a good jack-knife validity coefficient of  $R = 0.77$ . For a better data overview in the present study the scores were changed in their direction comparable to the on-road assessment measures. Therefore, scores 1 and 2 indicate that participant fail in an on-road test. Participants with a score 3 or greater would successfully complete an on-road test. This composite variable was used as dependent variable for the evaluation of cognitive performance.

#### DRIVING SIMULATOR TRAINING

The goal of this training approach was to increase the mental workload of correct driving in a realistic multitasking driving setting. Therefore, complexity and difficulty were gradually increased from session to session. A training session took 40 min active driving and a short verbal feedback (feedback on reaction time, number of errors). Participants were instructed to drive with adequate speed and follow the instructions of the “simulated trainer.” The “simulated trainer” was a computer-based program: a male voice giving information about the direction of travel. These instructions were delivered according to Swiss traffic rules. The first training session included four scenarios (interurban, suburb, town, and motorway) without other vehicles in order to familiarize with the simulator. In the remaining nine training sessions six different traffic scenarios (interurban, suburb, town, motorway, overtaking and traffic rules scenario) with three different levels of difficulty were presented. Four or five scenarios were conducted in each training session (time duration of each scenario depends on the participants driving speed, no longer than 15 min for one scenario). Levels of difficulty were defined in each scenario with an increasing traffic frequency, increase of virtual drivers ignoring traffic rules (e.g., right of way rule) and an increase of hazardous traffic situations (e.g., child runs into the street). Additionally the complexity of traffic situation increased from interurban to suburban with highest complexity in the town scenario (see Figure 2). Furthermore, weather conditions were varied: in the third, sixth, and ninth training session it was raining infrequently or it was foggy. In training sessions four, seven, and ten participants had to drive in nighttime conditions. This training plan was fixed and participants had no possibility to adapt their subjective condition. As described above, one participant stopped due to excessive private demands.

The training progress was evaluated in four scenarios (three rural, one urban), which were not included in the training. In these scenarios, driving performance was measured using *driving errors* (accidents, traffic rule violation, leaving the lane, no use of direction indicator etc.), *top speed*, *mean speed*, *lane accuracy*, *lane variability*, and *reaction time* to unexpected stimuli (hazardous events). The driving simulator software automatically recorded the six variables for each of the four scenarios. These scenarios were conducted after the second, sixth, and tenth training session. The variables from the three rural scenarios were averaged.

<sup>1</sup>[http://www.lafayetteevaluation.com/product\\_detail.asp?ItemID=353](http://www.lafayetteevaluation.com/product_detail.asp?ItemID=353)

Training progress was analyzed with an ANOVA for repeated measures and showed a significant and positive effects, expect for the variable *lane accuracy* ( $p > 0.05$ ). The detailed results are listed in Table 4.

#### ATTENTION TRAINING

The goal of this training approach was to increase specific driving-relevant cognitive functions. To prevent multitasking each scenario (intrinsic, phasic alertness, vigilance) was trained consecutively. A training session took 40 min active training and a short feedback (feedback on reaction time, number of errors and achieved level). The training regimes contained three different approaches. Each of the 10 training sessions was composed of 10 min intrinsic alertness training, followed by 10 min of

phasic alertness training (Hauke et al., 2011) and 20 min of vigilance training, conducted by a software of Schuhfried GmbH (Schuhfried, n.d.). In all training sessions participants were seated on a chair.

In the two alertness training sessions, they saw a motorcycle from a driver's viewpoint, in motion. The motorcycle drove automatically a predefined circuit in a realistic driving scene. Speed and steering was controlled automatically by the software. Participants were instructed to react as fast as possible to objects and situations, which appeared during the ride. Objects were falling trees or rocks, cars, or animals crossing the street, and traffic lights changing to red. The visualized objects only require a reaction by pushing a corresponding button if they block the road. If participants reacted more than eight times fast enough (regularly stop to prevent a crash with an object) and/or made no further errors (e.g., anticipation), the software automatically increased the level of difficulty (e.g., increasing driving speed). In case of poorer performance during a training session level decreased.

In the vigilance training a virtual driver cabin's viewpoint was presented. The car drove automatically straight ahead with constant speed. Infrequently the car was overtaken. If the brake lights of the car now being in front light up, participants had to push a corresponding button as fast as possible. If participants did not push the button after 3 s, the brake light started to flash before an error was registered. The level of difficulty was controlled automatically by the software and increased after 15 CR with a reduction in overtaking maneuvers and reduction in surrounding visual stimulation (e.g., buildings, trees).

The training progress was evaluated for each session (reached training level) and was analyzed with an ANOVA for repeated measures. Participants in this training group showed a significant and positive training progress. The detailed results are listed in Table 5.



FIGURE 2 | Graphical illustration of a driving simulator scenario showing a town traffic situation (level 2, nice weather).

Table 4 | Training progress: simulator training.

Variable	Second training session (N = 31)	Sixth training session (N = 31)	Tenth training session (N = 31)		
	M (SD)	M (SD)	M (SD)	F	p
<b>RURAL SCENARIOS</b>					
Driving error	2.29 (1.47)	4.48 (2.79)	1.22 (1.41)	13.20	<0.01
Top speed	62.02 (5.82)	60.55 (5.30)	64.91 (4.87)	7.08	0.012
Mean speed	40.30 (3.88)	39.89 (3.44)	42.95 (3.34)	19.96	<0.01
Lane accuracy (%)	77.05 (4.50)	77.38 (4.71)	75.96 (4.70)	2.71	n. s.
Lane variability (%)	13.89 (1.47)	13.52 (1.16)	13.59 (1.14)	1.44	n. s.
Reaction time (s)	1.35 (0.13)	1.20 (0.11)	1.15 (0.14)	60.54	<0.01
<b>URBAN SCENARIO</b>					
Driving error	4.48 (2.79)	3.32 (2.31)	2.51 (1.99)	14.01	<0.01
Top speed	35.95 (4.69)	35.88 (5.03)	36.21 (4.62)	0.07	n. s.
Mean speed	16.33 (2.07)	17.07 (1.83)	17.80 (2.15)	16.99	<0.01
Lane accuracy (%)	65.42 (4.01)	65.95 (3.24)	65.65 (3.91)	0.69	n. s.
Lane variability (%)	25.58 (1.40)	24.88 (1.53)	24.80 (1.65)	7.73	<0.01
Reaction time (s)	1.11 (0.19)	1.15 (0.24)	1.05 (0.17)	1.77	n. s.

n. s., not significant; s, seconds.

**Table 5 | Training progress: cognitive training.**

Variable	N	Friedman $\chi^2$ test (Comparison of levels from all training session)	
		$\chi^2$	Asymp. Sig.
Intrinsic alertness	23	145.99	<0.01
Phasic alertness	23	157.05	<0.01
vigilance	23	185.95	<0.01

**PROCEDURE**

The general study design is a pre-post design. During the pre- and post-test sessions all participants conducted cognitive and on-road tests. Between the pre-test and post-test measurements the participants performed either the training regimes (driving simulator or attention) or simply waited to participate for the post-test (control group). Data acquisition took 25 months (May 2010–June 2012). The 91 participants were assigned to one of 13 training blocks. During every block seven participants took part (three for the simulator training, two for the attention training, and two for the control group). During the entire study, every participant took part in a single setting. Block duration was 7 weeks with two dates per week (two dates pre-tests; 10 training sessions; two dates post-tests; in total: 14 dates). In the first week (pre-test) and last week (post-test) on-road driving performance and cognitive performance was measured. Furthermore, all participants underwent electroencephalography (EEG) recordings during a set of three inhibition tasks (stroop, negative priming, and flanker). These data will be presented elsewhere (in preparation).

Before each computer test and on-road drive participants received an introduction about the test process and conditions (for tests: written instruction by software; for on-road drive: verbal instruction by the DI), but no feedback about their performance. Before all computerized tests (pre-test phase) the corresponding software automatically measured reaction time, correct and wrong answers to evaluate the participants' understanding of the particular test. In this pre-test phase participants were allowed to ask questions about the cognitive tests or in case of any other problems. During the first appointment participants conducted initially the cognitive test battery and thereafter the on-road drive (each lasting 1 h). On the second appointment (not included in this article), inhibition tasks (Stroop, negative Priming, Flanker) and EEG recording was conducted. From the second to the sixth week, both training groups participated in 10 training sessions with two training sessions a week. During this time period, the control group received no intervention. During post-test week on the second but last date, inhibition tasks and EEG recordings were conducted (not included in this article). On the last appointment, participants conducted again the cognitive test battery and thereafter the on-road drive (each lasting 1 h).

To control for mood and motivational changes during the training, participants completed in the first, fifth, and tenth training session an adapted version of the SAM (Self Assessment Manikin) for mood changes (Beeli et al., 2008) and an

adapted version of the FAM (Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation) for motivational changes (Rheinberg et al., 2001). In the driving simulator training group, SS was measured by calculating the mean of the three main subjective symptoms: nausea (N), oculomotor (O), and disorientation (D) (Kennedy et al., 1993) at begin, middle and end of training. Each symptom was scored from 1 to 5 (low SS = 1, severe SS = 3, strong SS = 5).

**STATISTICAL ANALYSIS**

Statistics were calculated using SPSS 18 for Windows 7 (SPSS Inc., Chicago, IL.), with a significance level of  $\alpha = 0.05$ . Differences in baseline performance and in demographic data between the groups were compared using Kruskal-Wallis and ANOVA tests.

With hierarchical multiple regression analysis with planned group comparisons the training benefits (dependent variables pre- and post-test) were analyzed for the cognitive and on-road performances. For the planned group comparisons orthogonal contrast coding was used. Contrast coding was used in accordance with the hypotheses formulated in the introduction.

We defined a-priori (planned) contrasts allowing us to test interaction effects (Pedhazur, 1982), which are of utmost importance to test our hypothesis formulated in the introduction. First we designed interaction contrasts allowing us to test pre-post differences between both training groups (attention and driving simulator training) vs. the control group. The second contrast was designed as orthogonal to the first contrast allowing us to test for pre-post differences between both training groups. Since we adopted orthogonal contrasts we only can use two contrasts (pre- and post-measures:  $df = 1$ ; number of groups:  $df = 2$ ).

The advantage of this contrast design is that we gain more statistical power to detect even moderately strong effects without increasing sample size too much. In addition, this kind of a priori defined testing is strongly hypothesis-driven. Since we anticipate that training results in improvement we decided to test uni-directionally. According to our hypothesis we are not interested to compare the two training groups separately with the control group since we are not interested in potential differences to the control group. We are mainly interested in differences between the training groups. We also focus statistical testing on the composite measure for on-road driving and cognitive performance. For the sub-measures of which the composite scores are calculated we only report the results on a descriptive basis.

Because of the relative small number of subjects and large number of dependent variables, which we can possibly be used for statistical testing, it is nearly impossible to perform classical statistical inference tests. The reason is the small power even when moderate or even strong effects are present. Thus, when applying corrections for multiple testing, no or only a few of strong effects would have been identified. Because of this, we decided to use a more descriptive statistical approach for most of the variables. For a subset of variables, we performed a strongly hypothesis-driven statistical analysis (the composite scores for on-road performance and cognitive test performance). For these tests we draw stronger conclusions from the analyses. For hypothesis-free analyses (the sub-measures constituting the composite scores), the statistical test results are not interpreted in terms of statistical significance, they are rather used as descriptive measures of between-group



differences. For these analyses, we will be more reluctant in interpreting the findings. The  $p$ -values for these comparisons can be taken as measures of effect (Krauth, 1988). Since we have to consider the fact that  $p$ -values depend on sample size, we also calculate effect sizes according to Cohen (1988). A  $d > 0.3$  and  $<0.5$  is considered as small, a  $d > 0.5$  and  $<0.8$  as moderate, while a  $d > 0.8$  is considered as large.

## RESULTS

### DEMOGRAPHIC AND BASELINE GROUP COMPARISON

There were no differences between the groups with regard to daily driving activities, relevant demographic variables, or gender (all  $p > 0.05$ ). Baseline comparisons showed a significant group difference in crystalline intelligence, decision time in the simple reaction task (RT) and district dependent behavior in the on-road assessment (Table 6). These variables did not correlate (as computed with Pearson correlations) with the composite scores for on-road and cognitive performance (all  $p$ -values at least  $< 0.10$ ). In all other measures there were no significant baseline differences (all  $p > 0.05$ ). Furthermore, no baseline differences exist for the overall on-road and cognitive performance.

### SIMULATOR SICKNESS, EMOTIONAL, AND MOTIVATIONAL STATUS

Participants in the simulator training reported SS, which significantly changed during the training ( $X^2 = 30.98$ ,  $p < 0.001$ ). Wilcoxon tests revealed a drop in subjectively experienced SS

from the start of the driving simulator session ( $median = 2.17$ ) to half time ( $median = 1.43$ ,  $z = -4.21$ ,  $p < 0.001$ ) and at the end ( $median = 1.38$ ,  $z = -3.83$ ,  $p < 0.001$ ) of the training. Therefore, no SS differences occurred between half time and end of training. Training groups differed in their emotional valence during training participation [ $F_{(1, 52)} = 4.56$ ,  $p = 0.038$ ]. *Post-hoc t-test* showed on average a lower positive valence in the driving simulator training group ( $M = 3.35$ ,  $SE = 0.16$ ) than in the attention training group at beginning ( $M = 4.43$ ,  $SE = 0.16$ ), [ $t_{(52)} = -4.67$ ,  $p < 0.01$ ]. No significant differences existed to half time and at the end of training. Furthermore, there was no group difference in emotional arousal and motivation (all  $p > 0.05$ ).

### ON-ROAD TRAINING EFFECT

Descriptive statistics from on-road performance are displayed in Table 7 including Cohen's  $d$  for the pre-post differences broken down for the three groups.

Training gains and the regression model on overall on-road performance are displayed in Figure 3 and Table 8. Significantly different training gains for the different groups are displayed in Table 8. Compared to the control group, there was no significant change in the overall on-road performance [ $F_{(1, 74)} = 1.59$ ,  $p = 0.11$ ,  $d = 0.35$ ] as a result of the training, but a significant improvement in the simulator training group compared to the attention training group [ $F_{(1, 74)} = 2.86$ ,  $p < 0.05$ ,  $d = 0.48$ ].

Table 6 | Baseline differences between groups.

Variable	Simulator training group ( $N = 31$ )	Cognitive training group ( $N = 23$ )	Control group ( $N = 23$ )	$p$
	$M$ ( $SD$ )	$M$ ( $SD$ )	$M$ ( $SD$ )	
Crystallized IQ	125.6 (11.3)	128.9 (10.3)	118.6 (11.9)	0.009
Simple choice reaction (DS), ms	467.3 (81.5)	475.3 (90.7)	545.3 (91.2)	0.004
District dependent behavior	3.96 (0.78)	3.79 (0.77)	4.29 (0.47)	0.047

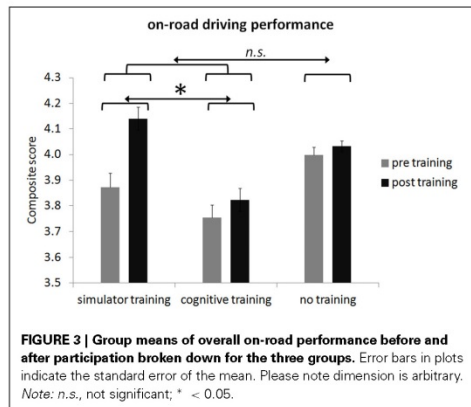
ms, milliseconds.

Table 7 | Descriptive statistics for on-road measures.

Variable	Simulator training group ( $N = 31$ )		$d$	Cognitive training group ( $N = 23$ )		$d$	Control group ( $N = 23$ )		$d$
	Pre-test	Post-test		Pre-test	Post-test		Pre-test	Post-test	
	$M$ ( $SD$ )	$M$ ( $SD$ )		$M$ ( $SD$ )	$M$ ( $SD$ )		$M$ ( $SD$ )	$M$ ( $SD$ )	
Overall driving performance	3.87 (0.63)	4.14 (0.51)	0.56	3.75 (0.57)	3.82 (0.52)	0.15	3.99 (0.36)	4.01 (0.24)	0.08
Traffic observation	3.85 (0.75)	4.04 (0.77)	0.27	3.64 (0.71)	3.72 (0.73)	0.12	3.94 (0.53)	3.99 (0.61)	0.09
Speed at intersection	3.95 (0.69)	4.38 (0.68)	0.66	4.08 (0.63)	3.96 (0.79)	0.17	4.29 (0.71)	4.03 (0.69)	0.40
Gaze behavior	3.71 (0.79)	3.91 (0.61)	0.27	3.60 (0.65)	3.57 (0.63)	0.04	3.75 (0.61)	3.82 (0.51)	0.12
Change of direction	3.95 (0.69)	4.38 (0.68)	0.55	4.08 (0.64)	3.95 (0.79)	0.16	4.29 (0.71)	4.03 (0.69)	0.33
District dependent behavior	3.96 (0.78)	4.39 (0.67)	0.63	3.79 (0.77)	4.06 (0.64)	0.41	4.29 (0.47)	4.25 (0.43)	0.10
Use of different speed limits	4.06 (0.79)	4.47 (0.54)	0.65	3.98 (0.60)	4.11 (0.49)	0.25	4.22 (0.47)	4.29 (0.56)	0.14
Lane behavior	3.48 (0.83)	3.40 (0.78)	0.10	3.17 (0.80)	3.27 (0.50)	0.16	3.15 (0.57)	3.50 (0.48)	0.68

$d$ , Cohen's  $d$  effect size (Cohen, 1988) using the pooled  $SD$  for both conditions and correcting for dependence between means according to Morris and DeShon (2002).





**FIGURE 3 |** Group means of overall on-road performance before and after participation broken down for the three groups. Error bars in plots indicate the standard error of the mean. Please note dimension is arbitrary. Note: n.s., not significant; \* < 0.05.

Please note that the following comparisons are only done on a descriptive basis to prevent an inflation of statistical tests. Increased performance for both training groups compared to the control group were found for the following sub-measures: *change of direction* [ $t_{(74)} = 2.24, p < 0.05, 1\text{-tailed}, d = 0.56$ ], *district dependent behavior* compared to the control group [ $t_{(74)} = 2.62, p < 0.05, 1\text{-tailed}, d = 0.68$ ]. Significantly better performance yielded for the simulator training group compared to the attention training group for the variable *change of direction* [ $t_{(74)} = 2.68, p < 0.01, 1\text{-tailed}, d = 0.79$ ]. For *lane behavior* there was an increase in this measure for the control group compared to both training groups [ $t_{(74)} = -1.96, p < 0.05, 1\text{-tailed}, d = 0.54$ ].

#### COGNITIVE TRAINING EFFECT

Descriptive statistics from cognitive performance are displayed in **Table 9** including Cohen's  $d$  for the pre-post differences broken down for the three groups.

Training gains and the regression model on overall cognitive performance are displayed in **Figure 4** and **Table 10**. Significantly different training gains for the different groups are displayed in **Table 10**. Compared to the control group, there was a significant improvement in the *overall cognitive performance* for both training groups [ $F_{(1, 74)} = 8.99, p < 0.01, d = 0.48$ ] but no significant improvement in the simulator training group compared to the attention training group [ $F_{(1, 74)} = 0.36, p = 0.55, d = 0.22$ ].

For the sub-measures of cognitive performance we revealed improved performance in several measures. As explained in the method section the following comparisons are only used on a descriptive basis to prevent an inflation of statistical tests. Increased performance for both training groups compared to the control group were found for the following sub-measures: *motor speed* compared to the control group [ $t_{(74)} = -1.98, p < 0.05, 1\text{-tailed}, d = 0.48$ ]. Significantly better performance yielded for the attention training group compared to the simulator training group for the variable *decision speed* [ $t_{(74)} = -1.81, p < 0.05, 1\text{-tailed}, d = 0.56$ ].

**Table 8 |** Multiple regression for the interaction between orthogonal contrasts and training gain for the composite score of the on-road performance.

Variable	B	SE	$\beta$
<b>Overall driving performance</b>			
Linear interaction AB $\times$ C	0.022	0.018	0.061
Linear interaction A $\times$ B	0.050	0.029	0.082*

A, driving simulator group; B, cognitive training group; C, control group. AB  $\times$  C, comparison of the average of the training effect for group A and B vs. the training effect for group C.

A  $\times$  B, comparison of the training effect for group A vs. the training effect for group B.

\* < 0.05.

#### DISCUSSION

The main goal of this study was to investigate whether on-road driving in older healthy active drivers can be improved by two different training approaches: training with a driving simulator or training of cognitive functions known to be involved in controlling driving. Based on the current literature we hypothesized that both training approaches would increase on-road driving performance as well as cognitive performance. Secondly, we hypothesized that driving simulator training, in which scenarios are comparable to on-road driving, would induce stronger on-road driving performance gains than attention training because this training requires multitasking. We also anticipated that cognitive performance growth would strongly benefit from the simulator training since this training also induces lots of cognitive functions (e.g., attention, spatial perception, sensory-motor coordination and tracking, executive functions, vision, working memory etc.; Lees et al., 2010; Romoser, 2013; Casutt et al., 2014) and is a kind of multitasking training for which a recent paper has shown strong beneficial effects on cognitive performance and its underlying brain functions especially for older adults (Anguera et al., 2013). It is worth noting that we have used driving simulator training employing different naturalistic virtual realities with increasing complexity and difficulty. In addition, a well-established cognitive training software was used consisting of three consecutively conducted cognitive training approaches (Hauke et al., 2011).

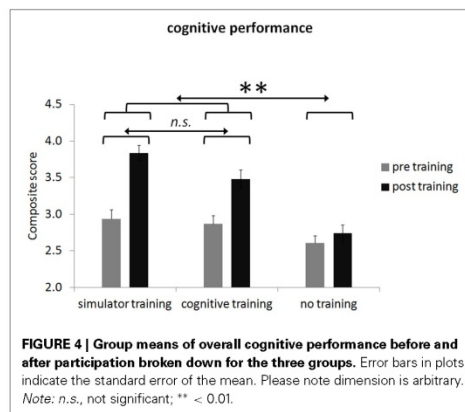
Participants in the driving simulator training group improved their on-road driving performance compared to the attention training group. Cognitive performance, however, improved in both training groups (driving simulator and attention training groups) in comparison to the control group. Thus, the driving simulator group showed improvements in on-road driving performance as well as cognition (near and far transfer) while the attention training group only showed improvement in cognition (near transfer). Thus, the driving simulator training (as an example for a complex training) obviously induces near and far transfer and exerts stronger training gains what was suggested in previous influential reviews (Lustig et al., 2009; Zelinski, 2009).

But what are the reasons for the different learning effects on on-road performance and cognitive functions? Highly interactive and complex cognitive training approaches (not only using

driving simulators but interactive video games) have been shown to exert positive influences on cognitive functions, behavior, emotion, and lots of other actions and functions (Green and Bavelier, 2006a,b; Achtman et al., 2008; Basak et al., 2008; Karbach and Kray, 2009; Marmeleira et al., 2009). In this context it has been argued that virtual environments and scenarios are inherently attractive and motivating (Lees et al., 2010). Many subjects feel a kind of presence when interacting with highly immersive video scenarios especially when they interact with or within the virtual environment (Havranek et al., 2012). These are circumstances enhancing attractiveness of these scenarios, which most likely also enhance motivation and attention, both factors, which are pivotal for learning and memory consolidation (Green and Bavelier, 2006a,b; Green et al., 2010; Bavelier et al., 2012). Therefore, it is most likely that attention and motivation to learn is stronger for those subjects who practice with a driving simulator than for those subjects who only practice more or less abstract cognitive functions. However, the rated motivation in our study did not differ between both training groups. Thus, it might be that the questionnaires measuring subjective motivation and arousal are not sensitive enough to capture fine graded motivation and arousal differences. It is well-known that subjective and physiological measures of motivation and arousal only weakly covariate (Erdmann and Janke, 1978). Thus, it is possible that our subjects participating in the driving simulator group were indeed stronger motivated or aroused (with the accompanying physiological changes) but without noticing it. In addition, it is also possible that all subjects were motivated or aroused to a quite high degree, which cannot be captured due to ceiling effects. Secondly, the driving simulator provides traffic scenarios, which are quite close and partly similar to real traffic situations. Thus, the subjects practicing with the driving simulator, train something, which they directly can use in real situations. Thus, the conceptual and practical “distance” of the learned aspects from a driving simulator context to an on-road driving situation is closer (near transfer) than the “distance” from attention training to on-road driving (far transfer). Similar beneficial effects from simulator training

(even when the used simulators are simple) to real life actions have been demonstrated quite frequently for controlling specific problematic driving skills in older drivers (Romoser and Fisher, 2009; Lavallière et al., 2011, 2012; Romoser, 2013; Romoser et al., 2013). Even when the attention training is designed to be a bit more realistic and dynamic (e.g., visual search strategies at intersection) not only cognitive functions like DA, monitoring, and decision making improve but also on-road driving performance (Romoser and Fisher, 2009). Thus, the realistic and dynamic aspects of driving simulator training are most likely important factors enhancing learning and more importantly enhancing the improvement of on-road driving.

A further aspect of the driving simulator training might enhance improving on-road performance and cognition. Driving simulator training as we have used it in our study is very similar to multitasking training. During simulator driving the



**FIGURE 4 |** Group means of overall cognitive performance before and after participation broken down for the three groups. Error bars in plots indicate the standard error of the mean. Please note dimension is arbitrary. Note: n.s., not significant; \*\* < 0.01.

**Table 9 |** Descriptive statistics for cognitive measures.

		Simulator training group (N = 31)			Cognitive training group (N = 23)			Control group (N = 23)		
		Pre-test	Post-test		Pre-test	Post-test		Pre-test	Post-test	
Variable		M (SD)	M (SD)	d	M (SD)	M (SD)	d	M (SD)	M (SD)	d
Cognitive test battery	Overall cognitive performance	2.94 (1.46)	3.84 (1.15)	0.66	2.87 (1.32)	3.48 (1.44)	0.42	2.61 (1.18)	2.74 (1.32)	0.10
	Simple choice reaction (DS), ms <sup>a</sup>	467.3 (81.4)	455.5 (90.9)	0.18	475.2 (90.7)	423.3 (68.0)	0.84	545.3 (91.2)	529.4 (100.6)	0.21
	Simple choice reaction (MS), ms <sup>a</sup>	212.7 (65.8)	186.2 (72.1)	0.42	227.0 (82.2)	201.9 (66.9)	0.37	215.3 (78.5)	222.8 (85.8)	0.10
	Selective attention (CIAn), s <sup>a</sup>	3.04 (0.64)	3.11 (0.66)	0.13	3.22 (0.76)	3.10 (0.48)	0.24	3.04 (0.51)	2.95 (0.46)	0.23
	Complex choice reaction (CR)	187.3 (26.1)	203.1 (29.7)	1.01	183.1 (24.7)	198.3 (27.9)	1.02	181.9 (29.4)	195.0 (33.9)	0.73
	Field of vision (FV)	154.7 (18.4)	157.3 (18.0)	0.21	152.8 (21.0)	153.2 (22.1)	0.03	152.3 (14.7)	155.3 (14.6)	0.30
	Divided attention (DA) <sup>a</sup>	13.2 (4.1)	12.1 (2.7)	0.31	13.0 (2.8)	13.6 (4.6)	0.16	13.1 (2.8)	13.8 (3.9)	0.20
	Perceptual speed (PS)	-0.31 (0.84)	-0.03 (1.06)	0.30	-0.61 (0.88)	-0.26 (0.88)	0.40	-0.48 (0.96)	-0.15 (0.78)	0.38

<sup>a</sup>Smaller scores reflect better performance. RT, reaction time; s, seconds; ms, milliseconds; d, Cohen's d effect size (Cohen, 1988) using the pooled SD for both conditions and correcting for dependence between means according to Morris and DeShon (2002).

**Table 10 | Multiple regression for the interaction between orthogonal contrasts and training gain for the composite score of the cognitive performance.**

Variable	B	SE	$\beta$
<b>Overall cognitive performance (NN)</b>			
Linear interaction AB $\times$ C	0.104	0.058	0.106**
Linear interaction A $\times$ B	0.074	0.096	0.045

A, driving simulator group; B, cognitive training group; C, control group. AB  $\times$  C, comparison of the average of the training effect for group A and B vs. the training effect for group C.

A  $\times$  B, comparison of the training effect for group A vs. the training effect for group B. \*\*  $< 0.01$ .

trainees have to orchestrate different psychological functions either simultaneously or in an elegant and efficient way sequentially. This kind of orchestration of several and different psychological functions is pivotal for efficiently driving a car. While driving in a driving simulator (and in a real car), the subjects have to control their car (sensorimotor control), scan the scenarios (perception), remember similar situations (memory), and anticipate as well as plan the maneuvers (cognition). Thus, this training has much in common with interactive cognitive multitasking (Basak et al., 2008; Marmeleira et al., 2009; Anguera et al., 2013). Moreover a recent publication showed that multitasking training increases not only performance in different cognitive domains (working memory, attention) but also induces changes in brain activity (Anguera et al., 2013). The authors interpreted their results of brain plasticity as an increased suppression of the default network during task engagement. In line with this evidence our results support the multitasking approach and its brain plasticity in the older adult brain and its positive transfer in cognition and on-road driving.

Additionally, in driving simulator studies it was shown that the level of multitasking costs is associated with driving uncertainty and driving errors (Bélanger et al., 2010) and that the multitasking costs in older drivers are greater than in younger drivers (Cantin et al., 2009). The multitasking nature of the driving simulator training is supported by the improved DA performance for the simulator group. DA is known to be a cognitive function relying on the complex interplay between different brain structures and is also a kind of multitasking. Cognitive training regimes during which one psychological function is practiced more or less isolated without switching lacks this dynamic interaction between different psychological functions (Zelinski, 2009).

Having a closer look at the improved aspects of on-road driving it becomes evident that they correspond to those traffic situations (behavior at crossroads, junctions, and lane change), which are discussed in the literature as typical problematic driving situations causing reduced driving safety and increased driving errors (Braitman et al., 2007; Romoser and Fisher, 2009; Lavallière et al., 2011). Romoser and Fisher (2009) showed that active simulator training improves older driver visual scanning strategies at intersections, which also were observed after a follow-up of 2 years (Romoser, 2013). Furthermore, these problematic driving behaviors are related to declines in executive functions, for

example in decision making (Daigneault et al., 2002; Horswill et al., 2008; Romoser and Fisher, 2009). According to these results, the present study complements the existing research. Interactive and multitask simulator training increases higher order cognitive functions and everyday life abilities in older adults.

## LIMITATIONS

First of all it should be kept in mind that SS is still a problem at least for some subjects practicing with the driving simulator. However, reported average sickness diminished during the simulator training and even disappeared entirely for most of the subjects. Thus, between-groups differences with respect to these variables could not account for the improvement in on-road driving and cognitive performance. However, some subjects were excluded from the study when the sickness symptoms did not disappear or attenuate to a strong degree. Although only seven subjects were excluded because of SS, SS might have influenced the present results in several ways. For example, we measured those subjects who could cope with the sickness symptoms. Thus, their training performance might be linked somehow with this coping and struggling. Maybe they employ more self-control and/or self-discipline during training than those who didn't experience these obstacles.

There are also some baseline differences between the groups with respect to the driving performance and the performance in the cognitive tests, which are difficult to explain (e.g., district dependent behavior, or reaction times in some cognitive tests). However, since these baseline differences have only been identified in two measures and did not influence the overall on road performance and overall cognitive performance we are sure that these differences do not influence training performance.

It should be noted that quality of lane behavior (a sub-variable contributing to on-road driving performance) did not improve as a consequence of the driving simulator training while the control group improved their performance with respect to this measure. This partly paradoxical finding is difficult to explain and we would like to refrain from making too strong and speculative arguments in this case. One tentative explanation could be that lane accuracy or its deviation is not a sensitive measure. In another simulator study comparing young and old drivers, there was no significant between-group difference with respect to this measure (Cantin et al., 2009). Further research is thus needed to study the moderating influences on this variable.

One important limitation in the present study is the absence of a further active control group to control for simple activity (even being unrelated to driving). Since this experiment was extremely demanding for the participating subjects (e.g., they had to travel to the psychological institute several times to practice the cognitive tasks or the driving simulator) it would have caused additional organizational effort to hire additional subjects for our active control group. In addition, it is borderline unethical to let a group of older adults practice something, which is unrelated to on-road driving and from which we anticipate no direct or indirect influence on on-road driving. We are thus sure that the local ethics committee never would have approved a control group like this. However, we used both experimental groups as control groups for the other group. Thus, the attention



training group acted as control group for the simulator group and vice versa.

Training intensity and duration are also issues, which will have substantial impacts on training results, either for the attention or the driving simulator training. The training intensity and frequency used in our study might be too low to induce strong training gains. Thus, it would be interesting to study whether increased training durations and frequencies will result in stronger improvements in cognition and driving behavior.

Additionally, a critical point of our study is the specific sample of older adults. All subjects (irrespective to which group they have been assigned) were highly interested to participate and most of them were active drivers using their car frequently. For example, the average mileage in Switzerland for this age group is 3200 km (Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung, 2012). The mean mileage in the participating subjects varied between 8973 and 11,909 km. Whether subjects who are closer to the average mileage would benefit differently from the driving simulator or cognitive training has to be shown in different experiments. That the particular sample of older adults has an influence on driving improvement has been shown in a study of Roenker et al. (2003). They uncovered a positive influence of a cognitive training on on-road driving in high-risk older adults, which are deemed to perform suboptimal in real driving situations.

A final critical point is that during cognitive training not only cognition is improved but also other functions (e.g., perception). However, the exact nature of the relation between perception and cognition is currently unknown and has to be elucidated in future studies. (for a similar conjecture see Anstey et al., 2003). Thus, we are not in the position to delineate whether the subjects of our experimental group demonstrate improved sensory and perceptual functions as a consequence of our training approaches. However, we can state that cognitive functions are altered due to our training.

## CONCLUSION

In this study we directly compared the influence of attention training and simulator training on on-road performance and cognition. Here we showed that only participants practicing to drive in different traffic scenarios using a driving simulator significantly improved their on-road driving performance compared to a group involved in attention training. In addition, both training groups (the driving simulator and the attention training group) showed improved cognitive performance compared to a control group. Thus, the present study shows that driving simulators are useful training tools to improve on-road performance as well as cognition in older adults. Although this study supports the beneficial role of driving simulators to improve on-road driving (and cognition) further studies have to be conducted disentangling the different cognitive processes benefiting most from driving simulator training. In addition, it has to be shown how the measured on-road performance relates to those traffic measures, which are most important for real traffic like traffic safety or crash numbers. It will also be interesting how different samples of older drivers (e.g., at-risk drivers with mild or advanced cognitive problems) will benefit from driving simulator and/or attention training.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Gianclaudio Casutt: Study conception and preparation, acquisition of data, statistical analysis, interpretation of data, drafting manuscript. Nathan Theill: Statistical analysis, interpretation of data, revising manuscript. Mike Martin: Revising manuscript. Martin Keller: Study conception. Lutz Jäncke: Supervision of study conception, statistical analysis, interpretation of data, revising manuscript.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research project was supported by funds of the "Forschungskredit" of the University of Zurich. We thank Dr. Jacqueline Zoellig for comments and suggestions provided through the planning phase of this project.

## REFERENCES

- Achtman, R. L., Green, C. S., and Bavelier, D. (2008). Video games as a tool to train visual skills. *Restor. Neurol. Neurosci.* 26, 435–446.
- Anguera, J. A., Boccanfuso, J., Rintoul, J. L., Al-Hashimi, O., Faraji, F., Janowich, J., et al. (2013). Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature* 501, 97–101. doi: 10.1038/nature12486
- Anstey, K. J., Hofer, S. M., and Luszcz, M. A. (2003). A latent growth curve analysis of late-life sensory and cognitive function over 8 years: evidence for specific and common factors underlying change. *Psychol. Aging* 18, 714–726. doi: 10.1037/0882-7974.18.4.714
- Anstey, K. J., and Wood, J. (2011). Chronological age and age-related cognitive deficits are associated with an increase in multiple types of driving errors in late life. *Neuropsychology* 25, 613–621. doi: 10.1037/a0023835
- Anstey, K. J., Wood, J., Lord, S., and Walker, J. G. (2005). Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clin. Psychol. Rev.* 25, 45–65. doi: 10.1016/j.cpr.2004.07.008
- Baldock, M. R., Thompson, J. P., and Mathias, J. L. (2008). "Self-regulation of driving behaviour among older drivers: findings from a five year follow-up," in *Proceedings of the 2008 Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference* (Adelaide).
- Ball, K., Edwards, J. D., Ross, L. A., and McGwin, G., Jr. (2011). Cognitive training decreases motor vehicle collision involvement of older drivers. *J. Am. Geriatr. Soc.* 58, 2107–2113. doi: 10.1111/j.1532-5415.2010.03138.x
- Basak, C., Boot, W. R., Voss, M. W., and Kramer, A. F. (2008). Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychol. Aging* 23, 765–777. doi: 10.1037/a0013494
- Bavelier, D., Green, C. S., Pouget, A., and Schrater, P. (2012). Brain plasticity through the life span: learning to learn and action video games. *Annu. Rev. Neurosci.* 35, 391–416. doi: 10.1146/annurev-neuro-060909-152832
- Beeli, G., Casutt, G., Baumgartner, T., and Jäncke, L. (2008). Modulating presence and impulsiveness by external stimulation of the brain. *Behav. Brain Funct.* 4, 33. doi: 10.1186/1744-9081-4-33
- Belanger, A., Gagnon, S., and Yamin, S. (2010). Capturing the serial nature of older drivers' responses towards challenging events: a simulator study. *Accid. Anal. Prev.* 42, 809–817. doi: 10.1016/j.aap.2009.07.010
- Braitman, K. A., Kirley, B. B., Ferguson, S., and Chandhary, N. K. (2007). Factors leading to older drivers' intersection crashes. *Traffic Inj. Prev.* 8, 261–274. doi: 10.1080/15389580701272346
- Bundesamt für Statistik und Bundesamt für Raumentwicklung (2012). *Mobilität in der Schweiz. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010*. Neuchâtel: Office fédéral de la statistique.
- Cantin, V., Lavallière, M., Simoneau, M., and Teasdale, N. (2009). Mental workload when driving in a simulator: effects of age and driving complexity. *Accid. Anal. Prev.* 41, 763–771. doi: 10.1016/j.aap.2009.03.019
- Cassavaugh, N. D., and Kramer, A. F. (2009). Transfer of computer-based training to simulated driving in older adults. *Appl. Ergon.* 40, 943–952. doi: 10.1016/j.apergo.2009.02.001
- Casutt, G., Martin, M., and Jäncke, L. (2013). Alterseffekte auf die Fahrsicherheit bei Schweizer Kraftfahrern im Jahr 2010. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 59, 162–169.

- Casutt, G., Martin, M., Keller, M., and Jancke, L. (2014). The relation between performance in on-road driving, cognitive screening and driving simulator in older healthy drivers. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 22, 232–244. doi: 10.1016/j.trf.2013.12.007
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Daigneault, G., Joly, P., and Frigon, J. Y. (2002). Executive functions in the evaluation of accident risk of older drivers. *J. Clin. Exp. Neuropsychol.* 24, 221–238. doi: 10.1076/1360-2422.221.993
- Edwards, J. D., Lunsman, M., Perkins, M., Rebok, G. W., and Roth, D. L. (2009a). Driving cessation and health trajectories in older adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 64A, 1290–1295. doi: 10.1093/gerona/glp114
- Edwards, J. D., Myers, C., Ross, L. A., Roenker, D. L., Cissell, G. M., McLaughlin, A. M., et al. (2009b). The longitudinal impact of cognitive speed of processing training on driving mobility. *Gerontologist* 49, 485–494. doi: 10.1093/geront/gnp042
- Erdmann, G., and Janke, W. (1978). Interaction between physiological and cognitive determinants of emotions: experimental studies on Schachter's theory of emotions. *Biol. Psychol.* 6, 61–74. doi: 10.1016/0304-0511(78)90007-8
- Green, C. S., and Bavelier, D. (2006a). Effect of action video games on the spatial distribution of visuospatial attention. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 32, 1465–1478. doi: 10.1037/0096-1523.32.6.1465
- Green, C. S., and Bavelier, D. (2006b). Enumeration versus multiple object tracking: the case of action video game players. *Cognition* 101, 217–245. doi: 10.1016/j.cognition.2005.10.004
- Green, C. S., Pouget, A., and Bavelier, D. (2010). Improved probabilistic inference as a general learning mechanism with action video games. *Curr. Biol.* 20, 1573–1579. doi: 10.1016/j.cub.2010.07.040
- Hakamies-Blomqvist, L. (1994). Compensation in older drivers as reflected in their fatal accidents. *Accid. Anal. Prev.* 26, 107–112. doi: 10.1016/0001-4575(94)90073-6
- Hauke, J., Fimm, B., and Sturm, W. (2011). Efficacy of alertness training in a case of brainstem encephalitis: clinical and theoretical implications. *Neuropsychol. Rehabil.* 21, 164–182. doi: 10.1080/09602011.2010.541792
- Havranek, M., Langer, N., Cheetham, M., and Jancke, L. (2012). Perspective and agency during video gaming influences spatial presence experience and brain activation patterns. *Behav. Brain Funct.* 8, 34. doi: 10.1186/1744-9081-8-34
- Holm, A., Linkander, K., Korpela, J., Sallinen, M., and Müller, K. M. (2009). Estimating brain load from the EEG. *Sci. World J.* 9, 639–651. doi: 10.1100/tsw.2009.83
- Horne, L. F., Etzel, S., and Rettig, K. (2003). *Manual Adaptive Matrices Test (AMT)*. Modling: SCHUHFRIED GmbH.
- Horswill, M. S., Kemala, C. N., Wetton, M., Scialfa, C. T., and Pachana, N. A. (2010). Improving older drivers' hazard perception ability. *Psychol. Aging* 25, 464–469. doi: 10.1037/a0017306
- Horswill, M. S., Marrington, S. A., McCullough, C. M., Wood, J., Pachana, N. A., McWilliam, I. et al. (2008). The hazard perception ability of older drivers. *J. Gerontol. B Psychol. Sci. Soc. Sci.* 63, P212–P218. doi: 10.1093/geronb/63.4.P212
- Jancke, L., and Klimmt, C. (2011). Expertise in video gaming and driving skills. *Zeitschrift für Neuropsychologie* 22, 279–284. doi: 10.1024/1016-264X/a000052
- Karbach, J., and Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Dev. Sci.* 12, 978–990. doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00846.x
- Kennedy, R., Lane, N., Berbaum, K., and Lilienthal, M. (1993). Simulator sickness questionnaire: an enhanced method for quantifying simulator sickness. *Int. J. Aviat. Psychol.* 3, 203–220. doi: 10.1207/s15327108ijap0303\_3
- Krauth, J. (1988). *Distribution-Free Statistics. An Application-Oriented Approach*. Amsterdam: New York Oxford: Elsevier.
- Langford, J., Fitzharris, M., Newstead, S., and Koppel, S. (2004). Some consequences of different older driver licensing procedures in Australia. *Accid. Anal. Prev.* 36, 993–1001. doi: 10.1016/j.aap.2003.11.003
- Lavallière, M., Laurendeau, D., Simoneau, M., and Teasdale, N. (2011). Changing lanes in a simulator: effects of aging on the control of the vehicle and visual inspection of mirrors and blind spot. *Traffic Inj. Prev.* 12, 191–200. doi: 10.1080/15389588.2010.548426
- Lavallière, M., Simoneau, M., Tremblay, M., Laurendeau, D., and Teasdale, N. (2012). Active training and driving-specific feedback improve older drivers' visual search prior to lane changes. *BMC Geriatr.* 12:5. doi: 10.1186/1471-2318-12-5
- Lees, M. N., Cosman, J. D., Lee, J. D., Fricke, N., and Rizzo, M. (2010). Translating cognitive neuroscience to the driver's operational environment: a neuroergonomic approach. *Am. J. Psychol.* 123, 391–411. doi: 10.5406/amer-jpsyc.123.4.0391
- Lustig, C., Shah, P., Seidler, R., and Renter-Lorenz, P. A. (2009). Aging, training, and the brain: a review and future directions. *Neuropsychol. Rev.* 19, 504–522. doi: 10.1007/s11065-009-9119-9
- Lyman, S., Ferguson, S. A., Braver, E. R., and Williams, A. F. (2002). Older driver involvements in police reported crashes and fatal crashes: trends and projections. *Traffic Inj. Prev.* 8, 116–120. doi: 10.1136/ip.8.2.116
- Marmeleira, J. F., Godinho, M. B., and Fernandes, O. M. (2009). The effects of an exercise program on several abilities associated with driving performance in older adults. *Accid. Anal. Prev.* 41, 90–97. doi: 10.1016/j.aap.2008.09.008
- Morris, S. B., and DeShon, R. P. (2002). Combining effect size estimates in meta-analysis with repeated measures and independent-groups designs. *Psychol. Methods* 7, 105–125. doi: 10.1037/1082-989X.7.1.105
- OECD. (2001). *Ageing and Transport: Mobility Needs and Safety Issues*. Paris: OECD publications.
- Owsley, C., McGwin, G. Jr., Phillips, J. M., McNeal, S. F., and Stalvey, B. T. (2004). Impact of an educational program on the safety of high-risk, visually impaired, older drivers. *Am. J. Prev. Med.* 26, 222–229. doi: 10.1016/j.amepre.2003.12.005
- Pedhazur, E. J. (1982). *Multiple Regression and Behavioral Science. Explanation and Prediction*. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., and Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica* 47, 57–66. doi: 10.1026/0012-1924.47.2.57
- Risser, R., Chaloupka, C., Grundler, W., Sommer, M., Hausler, J., and Kanfmann, C. (2008). Using non-linear methods to investigate the criterion validity of traffic psychological test batteries. *Accid. Anal. Prev.* 40, 149–157. doi: 10.1016/j.aap.2006.12.018
- Roenker, D. L., Cissell, G. M., Ball, K. K., Wadley, V. G., and Edwards, J. D. (2003). Speed-of-processing and driving simulator training result in improved driving performance. *Hum. Factors* 45, 218–233. doi: 10.1518/hfes.45.2.218.27241
- Romoser, M. R. (2013). The long-term effects of active training strategies on improving older drivers' scanning in intersections: a two-year follow-up to Romoser and Fisher (2009). *Hum. Factors* 55, 278–284. doi: 10.1177/0018720812457566
- Romoser, M. R., and Fisher, D. L. (2009). The effect of active versus passive training strategies on improving older drivers' scanning in intersections. *Hum. Factors* 51, 652–668. doi: 10.1177/0018720809352654
- Romoser, M. R., Pollatsek, A., Fisher, D. L., and Williams, C. C. (2013). Comparing the glance patterns of older versus younger experienced drivers: scanning for hazards while approaching and entering the intersection. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 16, 104–116. doi: 10.1016/j.trf.2012.08.004
- Schuhfried, (n.d.). Available online at: <http://www.schuhfried.com/cogniplus-cps/the-training-programs> (Accessed August 16, 2013)
- Schuhfried, G. (1998). *Manual Determination Test (DT)*. Modling: SCHUHFRIED GmbH.
- Schuhfried, G. (2005). *Manual Expert System Traffic (XPSV)*. Modling: SCHUHFRIED GmbH.
- Schuhfried, G., and Prieler, J. (1997). *Manual Reaction Test (RT)*. Modling: SCHUHFRIED GmbH.
- Schuhfried, G., Prieler, J., and Bauer, W. (2002). *Manual Peripheral Perception (PP)*. Modling: SCHUHFRIED GmbH.
- Selander, H., Lee, H. C., Johansson, K., and Falkner, T. (2011). Older drivers: on-road and off-road test results. *Accid. Anal. Prev.* 43, 1348–1354. doi: 10.1016/j.aap.2011.02.007
- Sheridan, T. B. (2004). Driver distraction from a control theory perspective. *Hum. Factors* 46, 587–599. doi: 10.1518/hfes.46.4.587.56807
- Sommer, M., Heidinger, C., Arendasy, M., Schaner, S., Schmitz-Gielsdorf, J., and Hausler, J. (2010). Cognitive and personality determinants of post-injury driving fitness. *Arch. Clin. Neuropsychol.* 25, 99–117. doi: 10.1093/arcin/acp109
- Sommer, M., Herle, M., Hausler, J., and Arendasy, M. (2009). "Von TAVTME zu ATAVT: eine Anwendung der automatisierten Itemgenerierung unter einschränkenden Rahmenbedingungen," in *Zweites Österreichisches Symposium für Psychologie im Militär*, eds G. Ebner and G. Fleck (Wien: Schriftreihe der Landesverteidigungsakademie), 27–52.

- Sommer, M., Herle, M., Hänsler, J., Risser, R., Schützhofer, B., and Chaloupka, C. (2008). Cognitive and personality determinants of fitness to drive. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 11, 362–375. doi: 10.1016/j.trf.2008.03.001
- Stalvey, B. T., and Owsley, C. (2003). The development and efficacy of a theory-based educational curriculum to promote self-regulation among high-risk older drivers. *Health Promot. Pract.* 4, 109–119. doi: 10.1177/1524839902250757
- von Bastian, C. C., Langer, N., Jäncke, L., and Oberauer, K. (2013). Effects of working memory training in young and old adults. *Mem. Cognit.* 41, 611–624. doi: 10.3758/s13421-012-0280-7
- Wagner, M., and Kärner, T. (2001). *Manual Cognitron (COG)*. Modling: SCHUHFRID GmbH.
- Zelinski, E. M. (2009). Far transfer in cognitive training of older adults. *Restor. Neurol. Neurosci.* 27, 455–471. doi: 10.3233/RNN-2009-0495

**Conflict of Interest Statement:** The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Received: 05 November 2013; accepted: 23 April 2014; published online: 13 May 2014.  
 Citation: Casutt G, Theill N, Martin M, Keller M and Jäncke L (2014) The drive-wise project: driving simulator training increases real driving performance in healthy older drivers. *Front. Aging Neurosci.* 6:85. doi: 10.3389/fnagi.2014.00085  
 This article was submitted to the journal *Frontiers in Aging Neuroscience*.  
 Copyright © 2014 Casutt, Theill, Martin, Keller and Jäncke. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

### 3.2 Publikation 2: Driving simulator training reduces brain workload in older drivers

#### Behavioral and Brain Functions Driving simulator training reduces brain workload in older drivers --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Full Title:	Driving simulator training reduces brain workload in older drivers
Article Type:	Research
Section/Category:	Attention, learning and behavior: Human studies
Funding Information:	Universität Zürich (CH) (7171) Mr. Gianclaudio Casutt
Abstract:	<p>Background: In high demanding cognitive tasks older people show more problems than younger people and their brain workload is higher. High mental workload is associated with unsafe driving behavior. In this paper, it was hypothesized that 10 active training sessions in a driving simulator reduce brain workload, which, in turn relates to a beneficial increase in on-road driving performance.</p> <p>Methods: Ninety-one healthy active drivers (62 - 87 years) were randomly assigned to (a) a driving simulator, (b) an attention-training group, or (c) a control group. The outcome variables were brain workload and inhibitory performance in three tasks (stroop, negative priming, flanker). Seventy-seven participants (85%) completed the training. Training gains were analyzed using a multiple regression analysis with planned comparisons.</p> <p>Results: The results revealed that the driving simulator training influenced brain workload measured during the performance of inhibition tasks positively. The simulator group did not improve inhibition performance, but completed the tasks with reduced brain workload in comparison to the attention-training group.</p> <p>Conclusion: Complex driving simulator training enhances older drivers' behavior on the road and reduces brain workload activation during inhibition tasks. Therefore, a driving simulator training lasting only ten sessions leads to beneficial neuroplastic changes. This demonstrates the importance of practice for daily driving.</p>
Corresponding Author:	Gianclaudio Casutt SWITZERLAND
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Gianclaudio Casutt
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Gianclaudio Casutt Mike Martin Lutz Jäncke
Order of Authors Secondary Information:	
Opposed Reviewers:	

# Einfluss von Fahrsimulator-Training auf Fahrsicherheit von Senioren

Manuscript

[Click here to download Manuscript: Casutt-WL-\(19.07.15\).docx](#)

[Click here to view linked References](#)

## Driving simulator training reduces brain workload in older drivers

Gianclaudio Casutt<sup>1, 2, 3</sup>, Mike Martin<sup>4, 5</sup>, Lutz Jäncke<sup>1, 3, 5</sup>

<sup>1</sup> Department of Psychology, Division of Neuropsychology, University of Zurich, Switzerland

<sup>2</sup> Department of Psychology, Division of Gerontopsychology, University of Zurich,  
Switzerland

<sup>3</sup> International Normal Aging and Plasticity Research Centre (INAPIC) Zurich, Switzerland

<sup>4</sup> Center for Gerontology, Zurich, Switzerland

<sup>5</sup> University Research Priority Program "Dynamics of Healthy Aging", University of Zurich,  
Switzerland

### Corresponding authors

**Gianclaudio Casutt**

Department of Psychology, Division of Neuropsychology, University of Zurich

Binzmühlestrasse 14/25

CH-8050 Zurich (Switzerland)

E-mail address: g.casutt@psychologie.uzh.ch

**or**

**Lutz Jäncke, Prof. Dr. (Ph.D.)**

Department of Psychology, Division of Neuropsychology, University of Zurich

1



## Einfluss von Fahrsimulator-Training auf Fahrsicherheit von Senioren

Binzmühlestrasse 14/25

CH-8050 Zurich (Switzerland)

Tel.: +41 446357400 fax: +41 446357109.

E-mail address: lutz.jaencke@uzh.ch

## Abstract

**Background:** In high demanding cognitive tasks older people show more problems than younger people and their brain workload is higher. High mental workload is associated with unsafe driving behavior. In this paper, it was hypothesized that 10 active training sessions in a driving simulator reduce brain workload, which, in turn relates to a beneficial increase in on-road driving performance.

**Methods:** Ninety-one healthy active drivers (62 – 87 years) were randomly assigned to (a) a driving simulator, (b) an attention-training group, or (c) a control group. The outcome variables were brain workload and inhibitory performance in three tasks (stroop, negative priming, flanker). Seventy-seven participants (85%) completed the training. Training gains were analyzed using a multiple regression analysis with planned comparisons.

**Results:** The results revealed that the driving simulator training influenced brain workload measured during the performance of inhibition tasks positively. The simulator group did not improve inhibition performance, but completed the tasks with reduced brain workload in comparison to the attention-training group.

**Conclusion:** Complex driving simulator training enhances older drivers' behavior on the road and reduces brain workload activation during inhibition tasks. Therefore, a driving simulator training lasting only ten sessions leads to beneficial neuroplastic changes. This demonstrates the importance of practice for daily driving.

## 1. Introduction *Driving in relation to mental and brain workload*

Driving a car is a demanding task [1] that is known to be problematic for older drivers due to declines in different cognitive domains [2]. Therefore, different countries have implemented specific policies to identify unsafe older drivers and to withdraw their driving license either when they fail a driving examination or simply based on an arbitrarily defined “critical” age [3]. Nevertheless, it was shown that several of these policies had mostly failed [4, 5]. However, driving cessation increases the likelihood of mental disorders [6] and reduces daily activity [7], which questions the ethical foundation of these strategies.

Focusing on driving behavior many studies have demonstrated that the type of car accidents differ between young and old drivers [8] and that there is an increased likelihood for older drivers to be involved in crashes in more complex traffic situations [9, 10]. Similarly, in complex traffic situations, older drivers tend to make more driving errors than younger drivers [11]. Anstey and Wood (2011) reported on complex traffic situations in which cognitive domains like selective attention, switching, inhibition, and discrimination predicts brake/accelerator and lane change errors in older drivers.

Based on this knowledge, driving practice interventions especially for older drivers maybe an alternative approach to counteract possibly reduced driving performance. In recent years, different training approaches for older drivers have been developed. Educational approaches have showed to raise awareness of problematic driving aspects in the older driver community [12], but did not increase driving safety in this age group [13]. On the other hand, different cognitive training studies with comparable approaches have revealed promising training effects on driving safety [14], a delay of driving cessation [15] or the enhancement of protective driving behavior [16, 11]. For example Roenker and colleagues [17] revealed that a speed of processing training increased driving performance. Moreover,

active simulator training approaches demonstrated that training for better visual scanning at intersections (second look) leads to positive long-term effects measured two years afterwards (number of second look) [18].

The reason for the advantages of interactive driving simulator training is likely due to the complexity of engaging multiple cognitive abilities within the same environment [19, 20]. A recently published study with older people using different training approaches (single vs. multitasking training) demonstrated that changes in behavioral and neural measures in participants conducting multitasking training were stronger than in participants taking part in single task training. Better task performance (reaction time) and higher frontal theta power were observed in the multitasking training group compared to the single task training group [21]. In addition, Engstrom and colleagues [22] have revealed the relation between mental workload in real and simulator driving. It is also possible to use driving simulators as interactive training instruments for traffic relevant aspects in cognition and/or behavior [11, 16]. The advantage of a driving simulator as a training instrument is the possibility to train multiple cognitive processes that are used while actively driving in real time in a controlled laboratory setting. Lee et al. [23] showed a high association ( $R^2 = .657$ ) between virtual and real on-road driving behavior measures in a sample of 129 older drivers. Another study demonstrated a strong relation ( $R^2 = .50$ ) between driving simulator performance and on-road driving performance or cognitive performance in older participants [24].

For correct execution of driving skills, more than one perceptual and cognitive process is needed [25]. The effective simultaneous usage of several cognitive processes while driving (e.g., multitasking) declines with chronological age and affects the level of mental workload [26]. For example, mastering demanding traffic situations is a kind of multitasking for which the mental workload increases. For example, whenever a dual-task exercise is necessary, the

1 mental workload increases whereas the overall driving performance extenuates [27]. Cantin  
2 and colleagues [28] compared younger and older drivers while they drove in different  
3 complex traffic situations in a simulator. For both groups the mental workload increased  
4 with rising complexity of driving context. But younger drivers responded in complex driving  
5 context more than twice as often to an additional task, drove faster as older drivers and  
6 showed in general a lower mental workload. Thus, the authors concluded that in situations  
7 that require a higher mental workload, older drivers use compensation strategies (e.g.  
8 slower driving) requiring less mental workload. Furthermore, Bélanger et al. [25] revealed  
9 that older drivers who crash in simulated overtaking maneuvers reported more feelings of  
10 mental workload than non-crashers. Additionally, their cognitive test performance was  
11 lower in different cognitive domains (processing speed, attention).  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27

28 In summary, for correct and safe traffic navigation, it is of utmost importance that mental  
29 processes are not limited. Correct inhibition and fast discrimination seem to be essential key  
30 processes for best decision making in short time. As in the study by Anstey and Wood [2],  
31 reaction time as a dependent variable is not sensitive enough to evaluate driving  
32 performance. Therefore, higher-order cognitive domains have to be investigated. In a  
33 theoretical framework, Nigg [29] proposed a concept of executive (aware) and automatic  
34 (unaware) inhibition processes. Many publications demonstrate that older people show  
35 different behavior and brain activation in these inhibitory tasks compared to a younger  
36 sample [30-36] and, therefore, the general slowdown in response time of inhibitory relevant  
37 trails results in problems to distract from task-irrelevant information [37]. If inhibitory  
38 functions are reduced, goal-directed behavior requires more time, which may become a  
39 problem during on-road driving [38, 35]. The sum of these driving-specific cognitive higher  
40 order functions might be associated with a general *mental workload* construct.  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

Results from electroencephalography (EEG) studies revealed a relation between task difficulty (mental workload) and a *brain workload score* [39-41]. The brain workload score is defined as the ratio between frontal theta and parietal alpha power (theta Fz/alpha Pz) as measured from standard EEG registrations [40, 42, 43]. Increased task demand and therefore enhanced mental workload is also associated with an increased frontal theta activity and a simultaneously decreased in parietal alpha activity [40, 42-44]. Only few studies have used this brain workload score so far during driving situations and have demonstrated that this score changes as a consequence of increased traffic demands and during cognitive tasks requiring more supervisory control [45, 46]. Extensive demands on executive functions concern frontoparietal EEG coherence in the alpha and theta bands [44] and are associated with increased brain workload score [43]. In a recent study brain activity was recorded during driving in a simulator involving tasks of varying difficulty (with or without alertness and vigilance tasks while driving). The brain workload increased in proportion to the level of task difficulty [45]. Lei and Roetting [46] observed two different mental workload conditions, where each of them had three workload levels: working memory (WM) task difficulties (n0, n1 and n2 back) and driving conditions (passive, perform lane change during 75 or 100 km/h). During task execution, brain activity was recorded. Results revealed that lane change deviation, WM error rate and response time delay increased with driving task load and working memory load (mental workload). Moreover, brain workload increased with working memory load.

Brain workload might also relate to driving performance in older drivers (mental workload and behavior). In a recently published paper of our group (originating from the "drive-wise" project at the University Zurich) we studied the efficacy of two different training approaches in older drivers. One group participated in in driving simulator training while the other group

1 practiced attention tasks. Results showed that the attention and the driving simulator  
2 training both increase the cognitive performance level in participants, but only participants  
3 in the driving simulator training group showed better on-road driving performance after  
4 training [47]. In accordance with these results and the previously described literature, the  
5 goal of the present analyses was to investigate changes in brain workload (ratio of theta  
6 Fz/alpha Pz power) in the context of the afore-mentioned training [47]. In this paper we  
7 report on a second finding of our drive-wise project. The same participants who have  
8 participated in our previously published training study also underwent additional separate  
9 psychological testing while EEG measures of brain workload were obtained. They performed  
10 three inhibitory tasks before and after the training. Since we have used three different  
11 groups (simulator training group, attention training group, and passive control group) we are  
12 in the position to test whether the different training scenarios might have differential impact  
13 on the performance in the inhibitory tasks and the associated brain workload measure.  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33

34 Our hypothesis is that the active driving simulator training will be the most appropriate  
35 training approach to change mental workload. According to our results in the first  
36 publication as well as to the existing literature [21, 42, 47], we postulate that the driving  
37 simulator training group exhibits a greater change in brain workload due to training  
38 compared to the other two groups. Accordingly, we suggest that after training lower brain  
39 workload results when there is no change in inhibitory task performance or higher brain  
40 workload when inhibitory task performance increases [43, 46].  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

## 2. Materials and Methods *Participants*

As mentioned above, we worked with the same participants who have been studied in the context of our previous paper. Thus, we only briefly report the sample characteristics. All participants had a valid driver license and were randomly allocated to one of the three following groups: the simulator-training group ( $n = 39$ ), the attention-training group ( $n = 26$ ), and the control group ( $n = 26$ ). The entire sample comprises 77 participants with a mean age of  $72.36 \pm 5.61$  (range 62 - 87) comprising 55 men (71.4%). The annual driving distance per year ranged between 8'973 – 11'909 km. For more details see also Casutt et al. [47].

### 2.2. Procedure

Data were acquired during a period of 25 months (May 2010 - June 2012) in the context of a pre-post design. The participants were randomly assigned to one of the three groups (driving-simulator-training group, attention-training-group, and control group), performed the pre-tests (including EEG recording), did their training (or waited to take part in the next training: control group), and finally conducted their post-tests. During the pre- and post-tests different assessments were used to measure driving performance, general cognitive performance, specific executive functions (inhibition tasks: stroop, priming, and flanker) and brain activity. The training or waiting period lasted five weeks. Assessments of driving performance and general cognitive performance were described and published in our first paper. An overview about the study design and training approaches provides figure 1 and 2.

-----

---- figure 1 ----

-----

-----



---- figure 2 ----

-----

In this paper the performance in the inhibition tasks and the associated brain recording (here the brain workload measure) are described. For the on-road test drive, cognitive test-battery, hard- and software descriptions specific training settings (driving simulator/attention training) and results about changes in driving and cognitive performances see our first publication. All participants also conducted the inhibitory tasks while EEG was recorded. The control group had not been contacted during the five weeks of the training period, but was able to receive the same training as the simulator-training group after the post measure.

## 2.3. Training conditions

*Driving simulator training:* We have described the driving simulator training in detail in our previous paper, thus we only briefly present the main issues here. A training session took approximately 40 minutes active driving (through different scenarios: interurban, suburb, town, and motorway) and 10 minutes feedback (feedback on reaction time, number of errors and driving skills). *Attention training:* The attention training was of the same length as the driving simulator training. The training comprises practicing of intrinsic and phasic alertness as well as vigilance training (see also [48]). All attention trainings were conducted in front of a 15" computer screen. Response panel and other hardware were products of Schuhfried GmbH [49]. An overview about the training approaches provides figure 2.

## 2.4. Inhibition tasks and EEG recording

All tests for recording brain activity were conducted on a Windows computer in a Faraday cage on a 17" screen. The test paradigms for Electroencephalogram (EEG) recording were controlled by presentation software (Neurobehavioral Systems, Albany, Canada). EEG and eye blinks were recorded with a QuickAmp amplifier (Brain Products GmbH, Germany). Sixty-four EEG and two eye channels (vertical (VEOG) and horizontal (HEOG) eye movement) were collected simultaneously during the experiments with a sampling rate of 500Hz, recorded with a 16 bit A/D converter and BrainVision Recorder software. All electrodes were referenced to a common average reference and the impedances were maintained lower than 30k $\Omega$ . Brain activity was recorded with Ag/AgCl impedance-optimized electrodes (ActiCap, Brain Products; Germany). Active electrodes were placed according to the 10-20 system being fixed into an EasyCap with an adhesive patch. The ground electrode was positioned at AFz.

We measured EEG activity while the participants conducted three inhibition tasks (stroop, flanker, and negative priming). The dependent variables for these tasks are reaction time (RT) and error rate (ER) for the control condition and the inhibitory task conditions. From the EEG data measured during the three inhibition tasks we computed a frequently used neurophysiological brain workload score, which is defined as the frontal theta/parietal alpha power ratio (frontal theta = 4–8 Hz; parietal alpha = 8–12Hz) [41]. Frontal theta was measured at Fz and parietal alpha at Pz electrodes. A higher brain workload score (increase frontal theta power, decrease parietal alpha power) is associated with more workload and vice versa [43, 42]. EEG was measured during the performance of the three inhibition tasks. BrainVision Recorder and presentation software (Neurobehavioral Systems) were used to synchronize for EEG data recording, task presentation, and synchronization of task with EEG

recording. Automatically this synchronization triggered the stimulus presentation and the answers of participants on the EEG data recording.

## *Inhibition tasks used during EEG recording:*

The *stroop task* was adapted from Hanslmayr et al. [50] as a test stimulating deliberate inhibition. In this test, participants were required to suppress word reading. It consisted of eight blocks of two different conditions: four blocks of congruent and four blocks of incongruent trials (each block contained 36 trials). Blocks occurred in alternating order and the starting block changed after each measure. Stimuli were presented on a black screen in random order. In the congruent condition the German words "ROT" (red), "GRÜN" (green), "GELB" (yellow) and "BLAU" (blue) were presented on the screen in their respective color. In the incongruent condition the four words were presented in one of the other three incongruent colors (e.g., "BLAU" in color yellow, green or red). All possible combinations of word-color pairs were presented with equal probability. Participants were instructed to push the corresponding button of the words' color as fast and as accurate as possible. The maximal presentation time was three seconds. Between trials there was a fixation cross with random time interval between 1 to 1.5 seconds. Reaction time (RT) and errors were registered in log files. The stroop effect was observed: T-Test comparison before training sessions (T1) showed significant faster RT and fewer errors in congruent trials (905 vs. 1078 msec,  $t(76)=10.4$ ,  $p<.01$ ; 2.3 vs. 5.6 errors,  $t(76)=4.5$ ,  $p<.01$ ).

The *negative priming* (NP) task was adapted from Andrés et al. [30] as an unaware inhibition process. On a white screen, two overlapping capital letters, one in green and the other in red, were presented for 500 msec. One letter was always a vowel and the other a consonant (vowels A, E, O, U; consonants H, K, N, R). Participants were instructed to decide if

the red letter was a vowel or a consonant by pushing a corresponding button (e.g., left button for vowels) as fast and as accurate as possible. The task consisted of four blocks of two different conditions: two blocks of NP and two blocks containing no negative priming (each block contained 56 trials). Blocks occurred in alternating order and the starting block changed after each measure. NP was defined as the distractor (green letter) in trail  $n$  and was the target (red letter) in trail  $n+1$ . All possible letter combinations of vowel and consonant pairs were presented with equal likelihood in a random order. After stimulus onset, a white screen was presented with a maximal presentation time between intervals from 2.3 to 2.5 seconds. Before the presentation of the next stimulus, a fixation cross with random time interval between 0.3 to 0.5 seconds was presented. RT and errors were registered in log files. The negative priming effect was observed: T-Test comparison before training sessions (T1) showed significant faster RT and fewer errors in trials without NP (671 vs. 688 msec,  $t(76)=3.78$ ,  $p<.01$ ; 5.9 vs. 7.1 errors,  $t(76)=2.3$ ,  $p<.05$ ).

The *flanker task* used in this study was adapted from Salthouse [51] as an aware inhibition process. Participants were required to suppress salient stimuli. On a black screen one of four different arrow compositions was presented. Two stimuli were compatible ("<<<<" and ">>>>") and two stimuli were incompatible (">><<" and "<<>>"). Participants were instructed to decide in each trial if the arrow in the middle (red only in this text) points to the left or the right (e.g., left button if arrow points to the left) by pushing a corresponding button as fast and as accurate as possible. The task consisted of four blocks including both conditions in 72 trials: compatible and incompatible trials were presented with equal likelihood in random order. The maximal presentation time was three seconds, between trials a fixation cross was presented with random time intervals ranging between 1 to 1.5 seconds. RT and errors were registered in log files. In this task, the flanker effect was clearly

present: T-Test comparison before training sessions (T1) showed significant faster RT and fewer errors in compatible trials (622 vs. 835 msec,  $t(76)=9.73$ ,  $p<.01$ ; 0.9 vs. 2.9 errors,  $t(76)=4.5$ ,  $p<.01$ ).

*EEG data processing:* The artifact-free and band pass filtered (0.1–30Hz) EEG data were segmented to 2 s epochs starting 500 ms before and ending 1.500 ms after stimulus presentation. These epochs were obtained for each task and for all correct answered trials separately for every participant. For every 2 second segment Fast Fourier transforms (FFT) were calculated which then were averaged to produce mean power spectra [39]. The sweeps were smoothed using a Hanning window, window length 10%, without compression (resolution: 0.488Hz). Absolute power spectra for frontal theta (4–8Hz) and parietal alpha (8–12Hz) were calculated for electrodes Fz (for theta) and Pz (for alpha) and exported for statistical analyses. After this preprocessing more than 200 power values for the theta and alpha band were obtained for every participant and task. Here we use this theta/alpha ration as a measure for brain workload [43].

## 2.5. Statistical Analysis

Statistics were calculated applying a significance level of  $\alpha = .05$ . Between-group differences with respect to baseline performance were conducted using Kruskal-Wallis and one-way ANOVAs. Similar to our previous paper (no baseline differences in cognitive tests (Schuhfried), driving performance or demographic variables) no baseline differences in the inhibition performance and brain workload between the three groups were observed. As described in our first publication also a significant training progress for both training groups were detected. There were no differences in emotional or motivational aspects (see for more details Casutt et al. [47]). To test the behavioral performance of the inhibitory tasks and brain workload hierarchical multiple regression analysis with planned group comparisons of

the training benefits (dependent variables pre- and post-test) were analyzed. For the planned group comparisons orthogonal contrast coding was used in accordance with the hypotheses formulated in the introduction.

On the basis of our hypothesis formulated in the introduction, a-priori (planned) contrasts were designed, allowing us to examine potential interaction effects [52]. Therefore, we designed interaction contrasts allowing us to test pre-post differences between both training groups (attention and driving simulator training) versus the control group. The second contrast was designed as orthogonal to the first contrast allowing us to test for pre-post differences between both training groups (pre- and post-measures:  $df = 1$ ; number of groups:  $df = 2$ ). All other analyses were calculated only to provide a descriptive overview in order to prevent conflicts for multiple testing. The  $p$ -values for these comparisons can be taken as measures of effect [53]. Since we have to consider the fact that  $p$ -values depend on sample size, we also calculate effect sizes according to Cohen [54]. A  $d > 0.3$  and  $< 0.5$  is considered as small, a  $d > 0.5$  and  $< 0.8$  as moderate, while a  $d > 0.8$  is considered as large. For more information see also Casutt et al. [47].

## 3. Results

The data from all 77 participants obtained during the inhibition tasks were included in the analysis. Because of technical problems during EEG recording for one participant this participant was excluded from the final analysis. Thus, the statistical analysis reported here relies on 76 participants.

Training gains on behavioral data for all three paradigms (stroop, negative priming, flanker) revealed no significant differences neither between the training groups and the control group nor between the simulator training group and the attention training group. Descriptive statistics from pre and post inhibitory performance are displayed in table 3. Because of no significant results no effect size was calculated. Compared to the control group, there was no significant linear improvement on behavioral data in reaction time difference in the stroop task ( $F(1,74) = 0.46, p = .50$ ), in the negative priming task ( $F(1,74) = 0.03, p = .86$ ) and the flanker task ( $F(1,74) = 0.39, p = .53$ ) as a result of the training. Planned contrasts between simulator training and attention training revealed no difference in reaction time difference (incongruent minus congruent trial) in the stroop task ( $F(1,74) = 0.30, p = .59$ ), in the negative priming (negative minus normal trial) task ( $F(1,74) = 0.44, p = .51$ ) and the flanker task (incompatible minus compatible trial) ( $F(1,74) = 0.02, p = .90$ ).

Descriptive statistics from pre and post of the brain workload changes are displayed in table 1 including Cohen's  $d$  for the pre-post differences for the three groups. Interactions between the two specific contrasts and linear trend of training gains due to brain workload changes in each inhibition task are displayed in table 2 and in figure 3. Compared to the control group, there was for stroop task no significant linear improvement in brain workload ( $F(1,73) = 0.88, p = .18$ ) as a result of the training, but a significant linear improvement in the simulator training group compared to the attention training group ( $F(1,73) = 3.49, p < .05$ ).

Compared to the control group, there was for priming task no significant linear improvement in brain workload ( $F(1,73) = 1.40, p = .12$ ) as a result of the training, but a trend for linear improvement in the simulator training group compared to the attention training group ( $F(1,73) = 1.68, p = .10$ ). Compared to the control group, there was for the flanker task a trend for linear improvement in brain workload ( $F(1,73) = 2.28, p < .10$ ) as a result of the training and a significant linear improvement in the simulator training group compared to the attention training group ( $F(1,73) = 5.86, p < .01$ ).

-----  
---- figure 3 ----  
-----

-----  
---- table 1 ----  
-----

-----  
---- table 2 ----  
-----



## 4. Discussion

The main goal of this research was to investigate whether the brain workload level (indexed by the frontal theta/parietal alpha power ratio) and performance in inhibitory tasks change as a consequence of different training regimes. Concrete, we examined whether a driving simulator and a more “classical” attention training influences changes in brain workload differently. As we already published in our first paper, driving simulator training increases on-road driving performance in comparison to attention training, but both types of training show efficacy in the cognitive aspect in contrast to the control group [47]. Completing these results this paper shows some additional evidences. A realistic driving simulator training positively influences brain workload in tasks not directly trained by older drivers. In line with previous research, the present results indicate that complex training approaches tend to exert greater efficacy than single-domain training approaches [55, 21]. In this context it has also been shown that a driving simulator training (as a model for a complex training) induces improvements in on-road driving [56, 11] while single-domain trainings are less effective [57, 20, 19].

Nevertheless, it was surprising that an attention training approach neither showed a benefit in driving performance (as shown in our first study) nor a change in brain workload. This seems to be a bit counterintuitive since several previous studies have reported that specific speed-sensitive training regimes increased driving-relevant cognitive domains and driving behavior itself (e.g., crash rate or driving errors). The differences between the results in the current study and these studies are possibly due to different samples, which have been examined. In previous research with older drivers, the samples were mostly divided into high risk and low risk drivers or controlled with regard to speed of processing sensitive tasks before conducting the training [14, 58, 17]. Of course, these approaches are

appropriate for investigating training effects for at-risk drivers or participants with cognitive disabilities. However, in the present study, we examined non-high risk older participants being highly interested in our study protocol and who are still active drivers. The mean annual driving distance of the older drivers in our sample varied between 8'973 and 11'909km, which is far more than the annual average driving distance (3'200 km) of older drivers of that age in Switzerland [59].

For safe driving, inhibitory brain functions play a crucial role [30-36]. We therefore used in the present study standard inhibition tasks to test the older driver's performance in this important psychological function. Interestingly, the performance in these inhibition tasks did not change as a consequence of the trainings. What changed, however, was the brain workload index obtained during the performance of these tasks. After the driving simulator training the brain workload index substantially dropped. Thus, these participants performed these inhibition tasks with less neurophysiological effort and/or resources. In other words they perform these tasks with higher neural efficiency.

The missing performance changes for the inhibition tasks are largely in line with what is known from other studies of this type. These studies mainly report no transfer from practicing one psychological function to the performance of a further function [e.g. 60, 61]. Nevertheless in our study and in the previous study examining inhibitory functions it turned out that older participants are generally performing less well than younger participants [62, 35]. In the study published by Dahlin and colleagues [62] the authors examined –similar as in our study- the effects of practicing and transfer to other functions. They let their participants practice an updating task and tested the possible transfer to memory and inhibitory tasks in younger and older participants. In both groups, they found no transfer effects to the inhibition tasks, but increased performance in memory functions. A transfer to working

memory performance (only for the high-load 3-back condition) was observed only for younger participants. Besides the behavioral analyses they were also interested in associated neural activations and identified striatal activation only for the younger participants before training. After training, increased activity was registered in the left striatum for the older participants especially during letter memory tasks. The authors concluded that for transfer effects striatal activation might be critical and that the missing overlap between networks associated with memory and inhibition performance could explain the lack of benefit in the inhibition task [62].

Although the practice and transfer effects are still not entirely understood, it is quite clear that older participants are less good in inhibition tasks [30, 36, 63]. This fits well to what has been identified so far with respect to the age-related decline in behavioral measures of executive control. This decline is generally related to age-related morphological and neurophysiological changes of the prefrontal cortex (PFC). The particular involvement of the PFC in aging has been emphasized in the context of several theoretical models: the frontal aging theory [64, 65], the inhibitory deficit theory of aging [66], and the posterior-anterior shift in aging [67]. The frontal aging theory postulates that cognitive decline in older adults is primarily due to the anatomical and functional deteriorations of the frontal lobes. The inhibitory deficit theory of aging is a bit more specific in arguing that cognitive decline in the elderly is due to a deterioration of inhibitory processes [68-70, 66]. In this theory inhibition is considered as a mechanism that suppresses ongoing or competing activity and thus selects the appropriate action consistent with the goals. People with poor inhibitory abilities have difficulty in attentional control (such as in sustaining on the task), as well in memory function (such as recalling from memory). The posterior-anterior shift in aging theory is built on the consistent finding that age-related increase in the frontal lobe activity is in general

1 accompanied by decreased activity in posterior brain regions [67]. This posterior-anterior  
2 shift in aging is considered as a compensatory mechanism [71] reflecting to offset posterior-  
3 related neuroanatomical and neurophysiological declines associated with aging.  
4  
5  
6

7  
8 The changes in brain workload in the present study correspond to this perspective. The  
9 reduction in brain workload only in the simulator-training group without any difference in  
10 behavioral performance compared to the attention-training group might be a result of the  
11 different training approaches. In the post-tests, participants in the simulator group needed  
12 less brain resources for the same performance on all three inhibition tasks compared to  
13 participants in the attention-training group. This interpretation is in line with earlier  
14 publications, which associate greater brain workload with an increase in task difficulty [40,  
15 42, 43] or higher frontal theta power with better task performance (reaction time) [21].  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28

29 Thus far, it is important to note that the three inhibition tasks are not identical in relation  
30 to their theoretical framework. In the stroop task, participants have to suppress reading.  
31 Therefore, participants must consciously suppress an automated brain function [72]. The  
32 negative priming task measures another automatic inhibitory process in addition to  
33 awareness [30]. In the current study, none of the participants realized the existence of a  
34 distractor, and therefore the negative priming effect was observed. The flanker task is an  
35 awareness inhibition process of a non-automated brain function. The task difficulty is the  
36 active suppression of salient information with high task relevance [73]. Nevertheless, there is  
37 one common parameter in all three tasks: processing speed. In the literature, the processing  
38 speed is described as a key function in reduced performance in inhibition tasks in older  
39 participants [74]. Recent studies have shown that there is a general slowing, but additionally  
40 that older participants have difficulties in dealing with competing cognitive functions during  
41 an inhibition-sensitive exercise [75] and, therefore, use compensatory brain resources [76-  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

79]. The findings in the present study validate the interpretation of a compensatory shift in cognitive strategies. Both training approaches included speed-sensitive components (feedback performance of reaction time), but at the behavioral level no reduction in reaction time difference ( $RT_{\text{Inhibition}} - RT_{\text{Neutral}}$ ) was observed. The brain workload change in the simulator group might represent a shift from compensational to the original inhibitory process, which needs less mental resources. Fronto-striatal circuits [80] play a crucial role not only for motor functions, but for cognitive and emotional functions as well. They conclude the following on page 770:

*"To summarize, of the fronto-striatal circuits described to date, only two, the motor and oculomotor circuits, have primarily motor functions. The remaining circuits are nonmotor and play a role in specific aspects of cognition or in regulation of drive, motivation, mood, and elements of social behavior."*

Based on the current results, some of these circuits might be used during the simulator training more extensively due to multitasking, simultaneous tasks, task novelty and complexity than in the single domain cognition training. In accordance with Gevins et al. [41], participants from the simulator training group completed inhibition tasks with equal performance, but needed less attention (reduced frontal theta) and were in a state of relaxation (increased parietal alpha) during task completion. Participants from the simulator group might perform with more flexibility and use less compensatory strategies after training [76, 77]. In line with the current results, it seems that there are inhibitory fronto-striatal circuits with on-road driving relevance. Further research in that field should focus on these circuits and its influence on ageing and on driving performance.

Our hypothesis was that the simulator training would induce psychological and neurophysiological processes reducing the task-related brain workload level stronger than

consecutive single attention training. Our hypothesis is grounded by the idea that a complex driving simulator training activates and trains several psychological functions while consecutive single attention training generally makes use of only one psychological function. Thus, when using a higher brain workload level for a longer time, the involved neural networks may have the opportunity to adapt to these demands and might develop a kind of more efficient wiring, which at the end causes reduced brain workload levels during demanding tasks in general. In fact, we identified reduced brain workload levels during inhibitory tasks only for those participants practicing the driving simulator. Further research needs to investigate how these gains affect driving safety, and whether complex training approaches can be implemented as tools for high risk drivers or for neurological rehabilitation programs.

## 5. Conclusion

This study demonstrates the potential of driving simulator trainings to induce brain plasticity in older drivers. Active and complex simulator training associated with high mental workload increases on-road driving performance (already published) and reduces brain workload during complete inhibition tasks. Thus, this driving-simulator training induces a kind of optimization of inhibitory control. The trained participants exert inhibitory control with less neurophysiological “effort”. Thus, this study also demonstrates driving simulators are useful devices not only for improving on-road driving performance. They are also useful for training of complex cognitive functions.

## Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

## Authors' contributions

GC: study conception and preparation, acquisition of data, statistical analysis, interpretation of data, drafting manuscript. MM: revising manuscript. LJ: supervision of study conception, statistical analysis, interpretation of data, revising manuscript.

## Acknowledgments

This research project was supported by funds of the Forschungskredit of the University of Zurich.

1. Summala H. Accident risk and driver behaviour. *Safety Science*. 1996;22(1-3):103-17.
2. Anstey KJ, Wood J. Chronological age and age-related cognitive deficits are associated with an increase in multiple types of driving errors in late life. *Neuropsychology*. 2011;25(5):613-21. doi:10.1037/a0023835.
3. OECD. Ageing and Transport: Mobility Needs and Safety Issues. Paris 2001.
4. Casutt G, Martin M, Jäncke L. Alterseffekte auf die Fahrsicherheit bei Schweizer Kraftfahrern im Jahr 2010. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*. 2013;59(3):162-9.
5. Siren A, Meng A. Cognitive screening of older drivers does not produce safety benefits. *Accident Analysis and Prevention*. 2012;45:634-8. doi:10.1016/j.aap.2011.09.032.
6. Fonda SJ, Wallace RB, Herzog AR. Changes in driving patterns and worsening depressive symptoms among older adults. *The Journals of Gerontology Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*. 2001;56(6):343-51.
7. Marottoli RA, de Leon CFM, Glass TA, Williams CS, Cooney LM, Jr., Berkman LF. Consequences of driving cessation: decreased out-of-home activity levels. *The Journals of Gerontology Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*. 2000;55(6):334-40.
8. Zhang J, Fraser S, Lindsay J, Clarke K, Mao Y. Age-specific patterns of factors related to fatal motor vehicle traffic crashes: focus on young and elderly drivers. *Public health*. 1998;112(5):289-95. doi:10.1038/sj.ph.1900485.
9. Braitman KA, Kirley BB, Ferguson S, Chaudhary NK. Factors leading to older drivers' intersection crashes. *Traffic Injury Prevention*. 2007;8(3):267-74. doi:10.1080/15389580701272346.
10. Owsley C, Ball K, McGwin G, Jr., Sloane ME, Roenker DL, White MF et al. Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults. *Journal of the American Medical Association*. 1998;279(14):1083-8.



11. Romoser MR, Fisher DL. The effect of active versus passive training strategies on improving older drivers' scanning in intersections. *Human Factors Society*. 2009;51(5):652-68.
12. Stalvey BT, Owsley C. The development and efficacy of a theory-based educational curriculum to promote self-regulation among high-risk older drivers. *Health Promotion Practice*. 2003;4(2):109-19.
13. Owsley C, McGwin G, Jr., Phillips JM, McNeal SF, Stalvey BT. Impact of an educational program on the safety of high-risk, visually impaired, older drivers. *American journal of preventive medicine*. 2004;26(3):222-9.
14. Ball K, Edwards JD, Ross LA, McGwin G, Jr. Cognitive training decreases motor vehicle collision involvement of older drivers. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2011;58(11):2107-13.
15. Edwards JD, Lunsman M, Perkins M, Rebok GW, Roth DL. Driving Cessation and Health Trajectories in Older Adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2009.
16. Lavallière M, Simoneau M, Tremblay M, Laurendeau D, Teasdale N. Active training and driving-specific feedback improve older drivers' visual search prior to lane changes. *BioMed Central Geriatrics*. 2012;12:5. doi:10.1186/1471-2318-12-5.
17. Roenker DL, Cissell GM, Ball KK, Wadley VG, Edwards JD. Speed-of-processing and driving simulator training result in improved driving performance. *Human Factors Society*. 2003;45(2):218-33.
18. Romoser MR. The long-term effects of active training strategies on improving older drivers' scanning in intersections: a two-year follow-up to Romoser and Fisher (2009). *Human Factors Society*. 2013;55(2):278-84.
19. Basak C, Boot WR, Voss MW, Kramer AF. Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychology and aging*. 2008;23(4):765-77.
20. Zelinski EM. Far transfer in cognitive training of older adults. *Restorative Neurology and Neuroscience*. 2009;27(5):455-71. doi:10.3233/RNN-2009-0495.
21. Anguera JA, Boccanfuso J, Rintoul JL, Al-Hashimi O, Faraji F, Janowich J et al. Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*. 2013;501(7465):97-101. doi:10.1038/nature12486.

22. Engstrom J, Johansson E, Ostlund J. Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transport Res F-Traf.* 2005;8(2):97-120.
23. Lee HC, Cameron D, Lee AH. Assessing the driving performance of older adult drivers: on-road versus simulated driving. *Accident Analysis and Prevention.* 2003;35(5):797-803.
24. Casutt G, Martin M, Keller M, Jäncke L. The relation between performance in on-road driving, cognitive screening and driving simulator in older healthy drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour.* 2014;22:232-44.
25. Bélanger A, Gagnon S, Yamin S. Capturing the serial nature of older drivers' responses towards challenging events: a simulator study. *Accident Analysis and Prevention.* 2010;42(3):809-17.
26. Hakamies-Blomqvist L, Mynttinen S, Backman M, Mikkonen V. Age-related differences in driving: Are older drivers more serial? *International Journal of Behavioral Development.* 1999;23(2):575-89.
27. Recarte MA, Nunes LM. Mental workload while driving: effects on visual search, discrimination, and decision making. *Journal of experimental psychology Applied.* 2003;9(2):119-37.
28. Cantin V, Lavalliere M, Simoneau M, Teasdale N. Mental workload when driving in a simulator: effects of age and driving complexity. *Accident Analysis and Prevention.* 2009;41(4):763-71. doi:10.1016/j.aap.2009.03.019.
29. Nigg JT. On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychol Bull.* 2000;126(2):220-46.
30. Andrés P, Guerrini C, Phillips LH, Perfect TJ. Differential effects of aging on executive and automatic inhibition. *Developmental neuropsychology.* 2008;33(2):101-23.
31. Bergerbest D, Gabrieli JD, Whitfield-Gabrieli S, Kim H, Stebbins GT, Bennett DA et al. Age-associated reduction of asymmetry in prefrontal function and preservation of conceptual repetition priming. *Neuroimage.* 2009;45(1):237-46.
32. Erickson KI, Ringo Ho MH, Colcombe SJ, Kramer AF. A structural equation modeling analysis of attentional control: an event-related fMRI study. *Brain Res Cogn Brain Res.* 2005;22(3):349-57.
33. Falkenstein M. Inhibition, conflict and the Nogo-N2. *Clin Neurophysiol.* 2006;117(8):1638-40.

34. Feyereisen P, Charlot V. Are there uniform age-related changes across tasks involving inhibitory control through access, deletion, and restraint functions? A preliminary investigation. *Exp Aging Res.* 2008;34(4):392-418.
35. Wild-Wall N, Falkenstein M, Hohnsbein J. Flanker interference in young and older participants as reflected in event-related potentials. *Brain Research.* 2008;1211:72-84.
36. Bugg JM, DeLosh EL, Davalos DB, Davis HP. Age differences in Stroop interference: contributions of general slowing and task-specific deficits. *Neuropsychology, development, and cognition Section B, Aging, neuropsychology and cognition.* 2007;14(2):155-67. doi:10.1080/138255891007065.
37. Munte TF, Heldmann M, Hinrichs H, Marco-Pallares J, Kramer UM, Sturm V et al. Nucleus Accumbens is Involved in Human Action Monitoring: Evidence from Invasive Electrophysiological Recordings. *Front Hum Neurosci.* 2007;1:11.
38. Daigneault G, Joly P, Frigon JY. Executive functions in the evaluation of accident risk of older drivers. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology.* 2002;24(2):221-38.
39. Gevins A, Smith ME. Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cerebral Cortex.* 2000;10(9):829-39.
40. Gevins A, Smith ME, Leong H, McEvoy L, Whitfield S, Du R et al. Monitoring working memory load during computer-based tasks with EEG pattern recognition methods. *Human Factors Society.* 1998;40(1):79-91.
41. Gevins A, Smith ME, McEvoy L, Yu D. High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cerebral Cortex.* 1997;7(4):374-85.
42. Gevins A, Smith ME, McEvoy LK, Ilan AB, Chan CS, Jiang A et al. A cognitive and neurophysiological test of change from an individual's baseline. *Clinical Neurophysiology.* 2011;122(1):114-20.
43. Holm A, Lukander K, Korpela J, Sallinen M, Muller KM. Estimating brain load from the EEG. *TheScientificWorldJournal.* 2009;9:639-51. doi:10.1100/tsw.2009.83.

44. Ward LM. Synchronous neural oscillations and cognitive processes. *Trends Cogn Sci.* 2003;7(12):553-9.
45. Borghini G, Vecchiato G, Toppi J, Astolfi L, Maglione A, Isabella R et al. Assessment of mental fatigue during car driving by using high resolution EEG activity and neurophysiologic indices. *Conference Proceedings of the IEEE.* 2012;2012:6442-5. doi:10.1109/EMBC.2012.6347469.
46. Lei S, Roetting M. Influence of task combination on EEG spectrum modulation for driver workload estimation. *Human Factors Society.* 2011;53(2):168-79.
47. Casutt G, Theill N, Martin M, Keller M, Jäncke L. The drive-wise project: driving simulator training increases real driving performance in healthy older drivers. *Front Aging Neurosci.* 2014;6:85. doi:10.3389/fnagi.2014.00085.
48. Hauke J, Fimm B, Sturm W. Efficacy of alertness training in a case of brainstem encephalitis: clinical and theoretical implications. *Neuropsychological rehabilitation.* 2011;21(2):164-82. doi:10.1080/09602011.2010.541792.
49. Schuhfried. CogniPlus. Schuhfried GmbH, Mödling. n.d. <http://www.schuhfried.com/cogniplus-cps/the-training-programs>. Accessed 16.08. 2013.
50. Hanslmayr S, Pastotter B, Bauml KH, Gruber S, Wimber M, Klimesch W. The electrophysiological dynamics of interference during the Stroop task. *Journal of Cognitive Neuroscience.* 2008;20(2):215-25.
51. Salthouse TA. Is flanker-based inhibition related to age? Identifying specific influences of individual differences on neurocognitive variables. *Brain and Cognition.* 2010;73(1):51-61.
52. Pedhazur EJ. Multiple regression. Explanation and prediction. . In: Holt R, Winston, editor. *Behavioral research.* New York, Toronto, London, Madrid 1982.
53. Krauth J. *Distribution-free statistics. An application-oriented approach.* Amsterdam, New York, Oxford: Elsevier; 1988.
54. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* 2 ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.

55. Takeuchi H, Kawashima R. Effects of processing speed training on cognitive functions and neural systems. *Reviews in the neurosciences*. 2012;23(3):289-301. doi:10.1515/revneuro-2012-0035.
56. Lavallière M, Laurendeau D, Simoneau M, Teasdale N. Changing lanes in a simulator: effects of aging on the control of the vehicle and visual inspection of mirrors and blind spot. *Traffic Injury Prevention*. 2011;12(2):191-200.
57. Lustig C, Shah P, Seidler R, Reuter-Lorenz PA. Aging, training, and the brain: a review and future directions. *Neuropsychology Review*. 2009;19(4):504-22. doi:10.1007/s11065-009-9119-9.
58. Edwards JD, Ruva CL, O'Brien JL, Haley CB, Lister JJ. An Examination of Mediators of the Transfer of Cognitive Speed of Processing Training to Everyday Functional Performance. *Psychological Aging*. 2012. doi:10.1037/a0030474.
59. Bundesamt für Statistik, Bundesamt für Raumentwicklung. Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010. In: Schweiz Sd, editor. *Mobilität und Verkehr*. Neuchâtel und Bern: Bundesamt für Statistik; 2012. p. 1-120.
60. Owen AM, Hampshire A, Grahn JA, Stenton R, Dajani S, Burns AS et al. Putting brain training to the test. *Nature*. 2010;465(7299):775-8. doi:10.1038/nature09042.
61. von Bastian CC, Langer N, Jäncke L, Oberauer K. Effects of working memory training in young and old adults. *Memory & cognition*. 2013;41(4):611-24. doi:10.3758/s13421-012-0280-7.
62. Dahlin E, Neely AS, Larsson A, Backman L, Nyberg L. Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science*. 2008;320(5882):1510-2.
63. de Fockert JW, Ramchurn A, van Velzen J, Bergstrom Z, Bunce D. Behavioral and ERP evidence of greater distractor processing in old age. *Brain Res*. 2009;1282:67-73.
64. Moscovitch M, Winocur G. Frontal lobes, memory, and aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1995;769:119-50.
65. West RL. An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychol Bull*. 1996;120(2):272-92.
66. Persson J, Lustig C, Nelson JK, Reuter-Lorenz PA. Age differences in deactivation: a link to cognitive control? *J Cogn Neurosci*. 2007;19(6):1021-32. doi:10.1162/jocn.2007.19.6.1021.

67. Davis SW, Dennis NA, Daselaar SM, Fleck MS, Cabeza R. Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cereb Cortex*. 2008;18(5):1201-9. doi:10.1093/cercor/bhm155.
68. Radvansky GA, Zacks RT, Hasher L. Age and inhibition: the retrieval of situation models. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*. 2005;60(5):P276-8.
69. Kane MJ, Hasher L, Stoltzfus ER, Zacks RT, Connelly SL. Inhibitory attentional mechanisms and aging. *Psychol Aging*. 1994;9(1):103-12.
70. Darowski ES, Helder E, Zacks RT, Hasher L, Hambrick DZ. Age-related differences in cognition: the role of distraction control. *Neuropsychology*. 2008;22(5):638-44. doi:10.1037/0894-4105.22.5.638.
71. Cabeza R, Daselaar SM, Dolcos F, Prince SE, Budde M, Nyberg L. Task-independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention and episodic retrieval. *Cereb Cortex*. 2004;14(4):364-75.
72. West R, Baylis GC. Effects of increased response dominance and contextual disintegration on the Stroop interference effect in older adults. *Psychol Aging*. 1998;13(2):206-17.
73. Zeef EJ, Sonke CJ, Kok A, Buiten MM, Kenemans JL. Perceptual factors affecting age-related differences in focused attention: performance and psychophysiological analyses. *Psychophysiology*. 1996;33(5):555-65.
74. Salthouse TA. The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological review*. 1996;103(3):403-28.
75. Rush BK, Barch DM, Braver TS. Accounting for cognitive aging: context processing, inhibition or processing speed? *Neuropsychology, development, and cognition Section B, Aging, neuropsychology and cognition*. 2006;13(3-4):588-610. doi:10.1080/13825580600680703.
76. Braver TS, Paxton JL, Locke HS, Barch DM. Flexible neural mechanisms of cognitive control within human prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2009;106(18):7351-6.
77. Puccioni O, Vallesi A. Conflict resolution and adaptation in normal aging: the role of verbal intelligence and cognitive reserve. *Psychol Aging*. 2012;27(4):1018-26. doi:10.1037/a0029106.

78. Berlingeri M, Danelli L, Bottini G, Sberna M, Paulesu E. Reassessing the HAROLD model: is the hemispheric asymmetry reduction in older adults a special case of compensatory-related utilisation of neural circuits? *Experimental brain research Experimentelle Hirnforschung Experimentation cerebrale*. 2013;224(3):393-410. doi:10.1007/s00221-012-3319-x.
79. Reuter-Lorenz P. New visions of the aging mind and brain. *Trends Cogn Sci*. 2002;6(9):394.
80. Tisch S, Silberstein P, Limousin-Dowsey P, Jahanshahi M. The basal ganglia: anatomy, physiology, and pharmacology. *Psychiatr Clin North Am*. 2004;27(4):757-99.
81. Morris SB, DeShon RP. Combining effect size estimates in meta-analysis with repeated measures and independent-groups designs. *Psychological Methods*. 2002;7:105-25.

# Einfluss von Fahrsimulator-Training auf Fahrsicherheit von Senioren

## Tables:

Table 1: Descriptive statistics from all inhibition tasks and brain workload

Variable		Simulator training group (#N = 31; *N = 30)			Attention training group (N = 23)			Control group (N = 23)		
		pre-test		post-test	pre-test		post-test	pre-test		post-test
		M (SD)	M (SD)		d	M (SD)		M (SD)	d	
Inhibition performance *	stroop: RT congruent trials in sec	0.899 (.130)	0.853 (.147)		0.926 (.124)	0.850 (.131)		0.893 (.130)	0.864 (.118)	
	stroop: RT incongruent trials in sec	1.060 (.193)	0.969 (.184)		1.101 (.199)	0.995 (.179)		1.079 (.203)	1.028 (.172)	
	priming: RT normal trials in sec	0.660 (.077)	0.648 (.094)		0.664 (.052)	0.651 (.076)		0.696 (.106)	0.681 (.089)	
	priming: RT neg. prime trials in sec	0.675 (.080)	0.668 (.089)		0.683 (.055)	0.668 (.079)		0.710 (.090)	0.698 (.083)	
	flanker: RT compatible trials in sec	0.626 (.130)	0.586 (.112)		0.612 (.090)	0.593 (.104)		0.623 (.067)	0.591 (.066)	
	flanker: RT incomp. trials in sec	0.825 (.280)	0.722 (.190)		0.834 (.264)	0.751 (.230)		0.849 (.222)	0.737 (.106)	
Brain workload	stroop	2.06 (1.41)	1.34 (.67)	.54	2.03 (1.65)	2.06 (1.52)	.01	1.41 (.73)	1.40 (.98)	.01
	priming	2.01 (1.23)	1.27 (.57)	.61	1.61 (1.28)	1.44 (.70)	.15	1.57 (1.71)	1.58 (1.00)	.01
	flanker	1.96 (1.03)	1.14 (.80)	.67	1.36 (.84)	1.31 (.86)	.05	1.43 (1.28)	1.43 (1.00)	.00

Notes: d = Cohen's d effect size [54] using the pooled SD for both conditions and correcting for dependence between means according to Morris and DeShon [81]. # for on-road and behavioral performance scores, \* for EEG measures, \* Smaller scores reflect better performance, RT= reaction time, sec =seconds, msec = milliseconds



Table 2: Multiple regression analysis for the interaction between orthogonal contrasts and linear trend for the brain workload

Variable	B	SE	$\beta$
Brain workload during stroop task			
Linear interaction AB x C	-.067	.071	-.075
Linear interaction A x B	-.221	.118	-.150*
Brain workload during priming task			
Linear interaction AB x C	-.077	.065	-.094
Linear interaction A x B	-.140	.108	-.103+
Brain workload during flanker task			
Linear interaction AB x C	-.072	.048	-.101+
Linear interaction A x B	-.193	.080	-.162**

Notes: A = driving simulator group; B = attention training group; C= control group.

AB x C = comparison of the average of the training effect for group A and B versus the training effect for group C

A x B = comparison of the training effect for group A versus the training effect for group B

\*\* < .01\* < .05, + < .10.

# Einfluss von Fahrsimulator-Training auf Fahrsicherheit von Senioren

Figures:

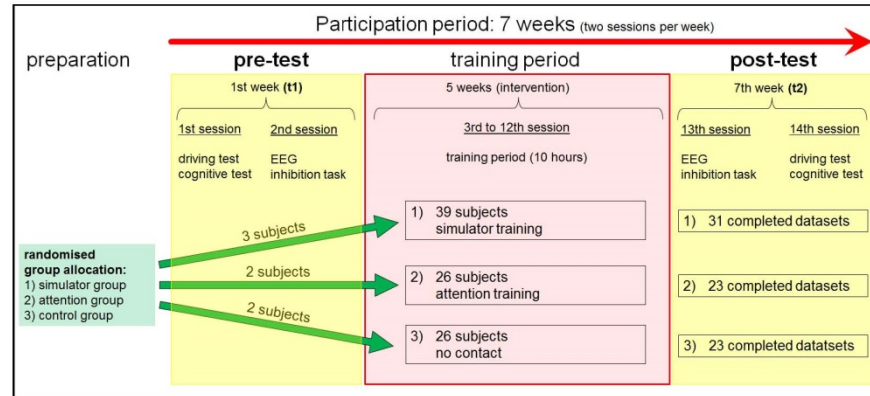


Figure 1: study design

<p><b>Simulator training</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Training type: <ul style="list-style-type: none"> <li>different cognitive modalities</li> <li>Realistic active driving scenarios</li> </ul> </li> <li>2. Sessions: <ul style="list-style-type: none"> <li>10 training sessions</li> <li>40 min. active training</li> <li>10 min. feedback</li> </ul> </li> <li>3. Training level difficulty: <ul style="list-style-type: none"> <li>Increasing traffic density in each scenario</li> <li>Level 1, 2, 3</li> <li>Traffic scenarios</li> <li>Suburb, interurban, town, motorway</li> <li>Increasing dangerous traffic situations</li> <li>Incoming car</li> <li>Open door from parked car</li> <li>Crossing pedestrian or animals</li> <li>Visual contrasts</li> <li>Sunshine, fog, rain, night</li> </ul> </li> <li>4. Dependent variables: <ul style="list-style-type: none"> <li>Reaction time</li> <li>Driving errors/number of crashes</li> <li>Lane variability/accuracy</li> <li>Mean speed/top speed</li> </ul> </li> </ol>	<p><b>Attention training</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Training type: <ul style="list-style-type: none"> <li>Single cognitive modalities</li> <li>Intrinsic/phasic alertness, vigilance</li> </ul> </li> <li>2. Sessions: <ul style="list-style-type: none"> <li>10 training sessions</li> <li>40 min. active training</li> <li>10 min. feedback</li> </ul> </li> <li>3. Training level difficulty: <ul style="list-style-type: none"> <li>Intrinsic alertness</li> <li>Fog</li> <li>Increasing speed</li> <li>Phasic alertness</li> <li>Sunshine</li> <li>Increasing speed</li> <li>Vigilance training</li> <li>Change in visual contrast</li> <li>Decreasing events</li> </ul> </li> <li>4. Dependent variables: <ul style="list-style-type: none"> <li>Correct responses</li> <li>Reaction time</li> <li>Level difficulty</li> </ul> </li> </ol>	<p><b>Training differences</b></p> <p><u>Simulator training</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sitting in real driver cabin</li> <li>Triple screen</li> <li>Active driving as accurate as in real driving situations</li> <li>High demanding cognitive driving tasks</li> </ul> <p><u>Attention training</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sitting in front of a screen</li> <li>Passive driving, pushing a button as fast as possible to incoming stimuli's</li> <li>High demanding alertness or vigilance tasks</li> </ul> <p><b>Training progress</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Significant in both trainings (<math>p &lt; .05</math>)</li> </ul> <p>(For more details see also Casutt et al. 2014).</p>
--	---	--

Figure 2: training settings

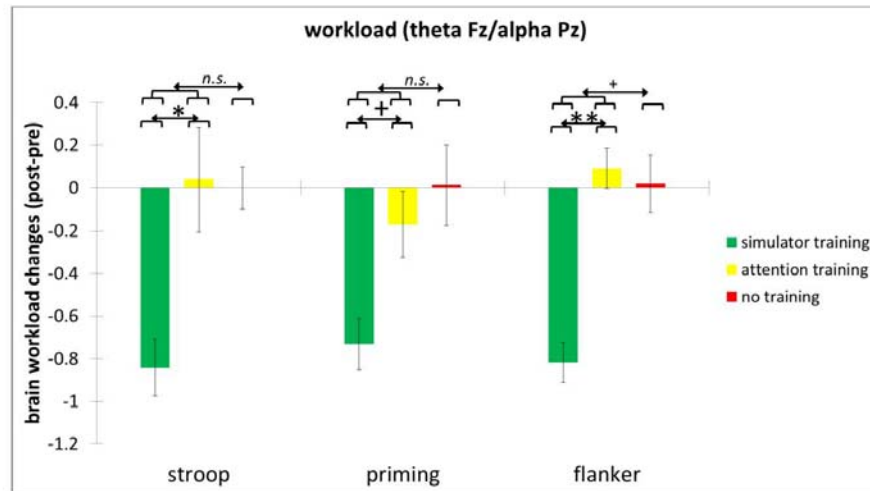


Figure 3: Training induced brain workload change during inhibition tasks

Note: Error bars in plots indicate the standard error of the mean.

n.s. = not significant, \*\* < .01; \* < .05, + < .10.



## 4 Gesamtdiskussion

Der Umstand des demografischen Wandel und des damit einhergehenden Anstiegs älterer Kraftfahrer im MIV hat den Bedarf an Forschungsarbeiten zur Sicherstellung der Verkehrssicherheit intensiviert (OECD 2001). Es ist wichtig, Erkenntnisse altersbedingter kraftfahrerspezifischer Veränderungen im Zusammenhang der individuellen, aber auch allgemeinen Verkehrssicherheit zu berücksichtigen und bestehende Konzepte zu verbessern und verschiedene neue Konzepte zu erarbeiten und zu prüfen. Einerseits zeigen Forschungsarbeiten, dass die aktuelle Situation zur Identifikation unsicherer älterer Kraftfahrer unzureichend ist (Siren, Meng 2012) und die Aberkennung der Fahrerlaubnis das Wohlbefinden, die Alltagsaktivität und den Gesundheitszustand der Betroffenen reduziert (Marottoli et al. 2000; Fonda et al. 2001). Gleichzeitig zeigen aber Studien zu Unfallrisiken über verschiedene Altersgruppen, dass das Risiko als Lenker in einen Verkehrsunfall verwickelt zu werden, auch unabhängig vom Verletzungsschweregrad mit zunehmendem Alter ansteigt, nachdem das Unfallrisiko bis ins mittlere Lebensalter abnimmt (Lyman et al. 2002; Casutt et al. 2013). Andererseits wurde nachgewiesen, dass Schulungskurse (edukative Interventionen) für ältere Kraftfahrer zur Sensibilisierung altersbedingter verkehrsrelevanter Problembereiche, zwar das Wissen über die Einschränkungen erhöht, nicht jedoch das Fahrverhalten ändert, wodurch die Anzahl Fahrfehler oder Unfälle unverändert hoch bleiben (Owsley et al. 2004).

Der Nachweis altersbedingter kognitiver Abbauprozesse konnte anhand von Leistungseinbussen über Verhaltensparameter nachgewiesen (Schaie 2005) werden. Desweiteren stehen mentale Funktionseinbussen wiederum in Zusammenhang einer hirnbedingten Volumenreduktion (Ziegler et al. 2012). In einem Reviewartikel zu kognitiven Trainingsansätzen wurde einerseits zusammengefasst, dass durch spezifische kognitive Trainingsmassnahmen das Leistungsniveau in den betroffenen und trainierten Gebieten gesteigert und dahingehend hirnbedingte funktionelle sowie strukturelle Veränderungen beobachtet werden konnten. Andererseits wurden im selben Reviewartikel unterschiedliche Trainingsprogramme miteinander verglichen, wobei kein eindeutig zu bevorzugendes Trainingsprogramm (uni-, multi-domän oder

strategisch) empfohlen werden konnte. Obwohl Vergleiche von Effizienz- sowie Transfereffekten zwischen den unterschiedlichen Trainingsprogrammen schwierig sind, interpretierten die Autoren, dass strategische Trainingsansätze starke Effekte im trainierten Bereich, doch geringe Transferleistungen zeigen. Hingegen liefern uni-domäne Trainings vielversprechende Transfereffekte, müssen aber sehr gut ausgearbeitet sein. Multi-domäne Trainings haben zwar vielschichtige Transfereffekte, wobei diese Effekte nur schwach ausgeprägt sind (Lustig et al. 2009). Den Transfereffekten widmete sich ein weiterer Reviewartikel: Zelinski (2009) verglich ebenfalls strategiebasierte, uni- und multi-domäne Trainingsansätze. Ihre Schlussfolgerung war, dass insbesondere die multi-domänen Trainingsansätze bisher zu wenig gut erforscht sind und möglicherweise deren Potential grösser ist als bei den uni-domänen Ansätzen.

Aufgrund obiger Reviewartikel sowie der Tatsache, dass ein Kraftfahrzeug lenken ein dynamisches und komplexes Verhalten darstellt (Summala 1996), in Fahrsimulatoren ein grosses Potential eines Trainingsinstruments vermutet wird (Lees et al. 2010) und bei älteren Kraftfahrer kognitive Funktionseinbussen mit reduzierter Fahrsicherheit in Verbindung gebracht werden (z. B.: Anstey et al. 2005), wurde in dieser Dissertationsarbeit das Trainingspotential eines Fahrsimulator-Trainings wissenschaftlich untersucht. Zwei Hauptziele wurden verfolgt: Das erste Ziel war die Überprüfung, ob ein Fahrsimulator-Training das Fahrverhalten positiv verändern sowie das kognitive Leistungsvermögen älterer Kraftfahrer steigern kann und ob durch das Training neuronale Veränderungen resultieren. Das zweite Ziel war, einen uni-domänen und multi-domänen Trainingsansatz zu vergleichen. Zu diesem Zweck wurde zusätzlich zum Fahrsimulator-Training (multi-domän) ein kognitives Training (uni-domän) durchgeführt. Dadurch war es möglich die Leistungsgewinne sowie Transfereffekte beider Ansätze auf Unterschiede zu prüfen.

Die beiden Trainingsgruppen zeigten positive Leistungskurven in den jeweiligen Trainingsbedingun. Zudem unterschieden sie sich nicht hinsichtlich Motivation und Emotion. Unterschiede im Fahrverhalten, dem kognitiven Leistungsniveau oder der neuronalen Auslastung zu Trainingsbeginn waren zwar vorhanden, aber beeinflussten die Hauptbefunde nicht.

Bei den Vergleichen der Veränderungen in den Verhaltensleistungen bei den Probefahrten zeigte sich nach dem Training, dass ausschliesslich das Fahrverhalten der Teilnehmer des Fahrsimulator-Trainings besser beurteilt wurde. Insbesondere die Bereiche *Spur- und Kreuzungsverhalten*, *Verhalten bei Richtungsänderungen* und *Anpassung der Geschwindigkeit* wurden nach dem Fahrsimulator-Training besser beurteilt. Diese Bereiche stehen im Kontext komplexer Verkehrssituationen und wurden in der Literatur bereits als problematische Verkehrsaspekte älterer Kraftfahrer beschrieben (Vance et al. 2006; Eberhard 2008; Ross et al. 2009). Ebenfalls können diese Befunde in den einzelnen Bereichen mit den Ergebnissen der beiden Arbeiten von Romoser und Fisher (2009) und Lavaillière (2012) in Verbindung gebracht werden. In diesen beiden Arbeiten wurden in komplexen Verkehrskontexten spezifische Fahrverhaltensweisen (Kreuzungsverhalten sowie Spurwechsel) am Simulator trainiert. Im Anschluss konnte gezeigt werden, dass die Teilnehmer in diesen Bereichen in der realen Situation bessere Fahrverhaltensweisen gezeigt haben.

Obwohl sich gesamthaft betrachtet das Fahrverhalten der kognitiven Trainingsgruppe nicht positiv verändert hat, gibt es eine Fahrverhaltensdimension, in welcher auch diese Trainingsgruppe ähnlich positive Veränderungen zeigte, wie die Fahrsimulator-Gruppe. Das *situationsabhängige Verhalten* wurde bei beiden Trainingsgruppen besser beurteilt. Eine mögliche Interpretation ist, dass Aufmerksamkeitsleistungen hinsichtlich korrekter Fahrweise (z. B.: Beachten Verkehrsvorschriften, Spurverhalten) und Geschwindigkeitskontrolle (Prüfen über Tachometer) gleichzeitig (dual task) ausgeführt werden müssen. Diese Verhaltensausführung bedarf möglicherweise Leistungen unterschiedlicher Aufmerksamkeitsfunktionen. Beide Gruppen zeigten hinsichtlich ihrer Aufmerksamkeitsleistung auch eine dementsprechende Verbesserung in der selektiven bzw. geteilten Aufmerksamkeit (siehe übernächster Abschnitt).

Die Ergebnisse der realen Probefahrten (Fahrleistung) zeigten, dass grundsätzlich die Transfereffekte des multi-domänen Trainingsansatzes gegenüber dem uni-domänen Trainingsansatz in Bezug zur realen Verkehrsteilnahme grösser sind. Dieses Ergebnis erstaunt insofern, weil in der bisherigen Literatur gezeigt werden konnte, dass uni-domäne Trainings

(prozessbezogen) einen positiven Einfluss auf die Fahrsicherheit von älteren Kraftfahrer hatte (Roenker et al. 2003). Der erwartete, aber letztendlich fehlende Anstieg in der Fahrleistung bei der kognitiven Trainingsgruppe muss aber nicht unbedingt ein Widerspruch zur bestehenden Literatur sein. In den bisherigen uni-domänen Trainingsstudien wurde insbesondere das Training bei Risikogruppen (high risk driver) angewendet. In der aktuellen Studie wurde keine Risikogruppe trainiert, weshalb durch die entsprechenden Trainingsansätze deshalb möglicherweise kleinere Effekte resultierten. Grundsätzlich zeigt sich, dass gesunde ältere Kraftfahrer ihr Fahrverhalten verbessern können, wenn sie an einem multi-domänen Training teilnehmen. Ob bei einer Risikogruppe derselbe Effekt gefunden würde, bleibt hingegen unbeantwortet. Es wäre durchaus möglich, dass bereits stärker beeinträchtigte Personen von einem multi-domänen Training überfordert wären und somit nicht mehr profitieren würden. Hier ist weiterer Forschungsbedarf angezeigt.

Die Ergebnisse des kognitiven Leistungsniveaus zeigten, dass sich beide Trainingsgruppen hinsichtlich ihres kognitiven Leistungsniveaus verbessern konnten. Die spezifischen trainingsbedingten Veränderungen beider Trainingsgruppen überlagerten sich aber nur im Bereich der motorischen Geschwindigkeit. Im Bereich der selektiven Aufmerksamkeit zeigte das uni-domäne kognitive Training einen stärkeren Transfer als das multi-domäne Training. Dieser Befund ist übereinstimmend mit der Erkenntnis der Reviewarbeit von Lustig (2009). Der in dieser Arbeit beschriebene starke prozessbezogene Effekt ist auch in den Daten dieser Doktorarbeit wieder zu finden. Die Versuchspersonen des uni-domänen Trainings trainierten Bereiche der Alertness, aber auch der selektiven Aufmerksamkeit, welche beide eine schnelle Diskriminierung von Informationen (processing speed) beinhalten. Genau in dieser Testvariable waren die Teilnehmer des uni-domänen Trainings auch denen des multi-domänen Trainings überlegen. Hingegen ergaben sich grössere Leistungsgewinne im Bereich der geteilten Aufmerksamkeit aufgrund des Fahrsimulator-Trainings. In der Taxonomie der Aufmerksamkeitsfunktionen stellt die geteilte Aufmerksamkeit eine komplexere Wahrnehmungsfunktion als die Alertness bzw. selektive Aufmerksamkeit dar und kann somit näher bei den exekutiven Funktionen zugeordnet werden (Fan, Posner 2004). Dieses Ergebnis



stimmt mit Befunden der Fahrsimulator-Studie von Romoser und Fisher (2009) überein. Ihre Ergebnisse zeigten, dass durch das spezifische Trainieren von Verhaltensweisen an Kreuzungen, die Teilnehmer auch die Leistung ihrer exekutiven Funktionen steigern konnten.

Insgesamt bestätigt diese Dissertationsarbeit die bisherigen wissenschaftlichen Arbeiten: Der uni- sowie multi-domäne Trainingsansatz zeigte Leistungsgewinne in kognitiven Funktionen, womit der Nachweis von Transfereffekten repliziert werden konnte (Lustig et al. 2009; Zelinski 2009). Doch bei genauerer Betrachtung der einzelnen kognitiven Funktionen wird ersichtlich, dass der Transfer des uni-domänen Trainings, wie in der Literatur beschrieben tatsächlich prozessbezogen ist. Hingegen zeigt sich, dass durch ein multi-domänen Training eher komplexere kognitive Funktionen beansprucht werden. Dieses Ergebnis ist übereinstimmend mit den Überlegungen von Basak (2008). Sie haben ihr komplexes Training so gestaltet, dass unterschiedliche Aufgaben gleichzeitig ausgeführt werden mussten. Dadurch verbesserten die Teilnehmer insbesondere kognitive Funktionen im exekutiven Bereich. Übertragen auf das hier verwendete Fahrsimulator-Training kann eine ähnliche Argumentation heran gezogen werden. Die Versuchspersonen mussten den Kraftwagen lenken (motorische und kognitive Kontrolle) und gleichzeitig auf den Verkehr sowie auf Gefahrenmomente achten. Ihr Postulat, dass multi-domäne kognitive Trainings, neben einer Verbesserung des kognitiven Leistungsniveaus, auch das Potential eines Transfers in Alltagsaktivitäten (hier Fahrverhalten) haben können, konnte mit dieser Dissertationsarbeit bestätigt werden und zeigt, dass auch die Forderung nach Forschungsarbeiten, wie von Zelinski (2009) gefordert, sinnvoll ist.

Die Ergebnisse der EEG Daten liefern den schlussendlich interessantesten Beleg dafür, dass ein multi-domänes Training einem uni-domänen Training überlegen ist. Die Versuchspersonen, die das Fahrsimulator-Training absolviert haben, zeigten gegenüber der kognitiven Trainingsgruppe eine Reduktion der neuronalen Auslastung bei gleich guter Inhibitionsleistung. Dadurch ergeben sich Hinweise, dass aufgrund eines Fahrsimulator-Trainings die mentale Auslastung für das Lösen von Inhibitionsaufgaben reduziert werden kann. Diese Interpretation wird durch die bisherige Literatur unterstützt. Aufgrund diverser Arbeiten von Gevins konnten viele Belege dafür geliefert werden, dass im Falle eines Anstiegs

der Aufgabenschwierigkeit, gleichzeitig auch die neuronale Auslastung (ratio Fz/Pz) ansteigt (Gevins et al. 1997; Gevins et al. 1998; Gevins, Smith 2000; Gevins et al. 2011). Dieses Wissen kann auf die Befunde dieser Dissertationsarbeit übertragen werden, woraus folgende Interpretation abgeleitet werden kann: Aufgrund der Tatsache, dass der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben vor und nach den Trainingssitzungen unverändert blieb und sich bei den Teilnehmern nach dem Fahrsimulator-Training die neuronale Auslastung reduzierte, waren sie somit von der Aufgabe weniger gefordert als vor dem Training. Bei der kognitiven Trainingsgruppe zeigte sich diese Veränderung nicht. Zusätzlich unterstützt wird die gemachte Interpretation durch weitere Arbeiten. Die Komplexität von einer Aufgabenstellung am Fahrsimulator erhöht nicht nur die mentale Auslastung (Cantin et al. 2009), sondern auch die neuronale Auslastung (Lei, Roetting 2011; Borghini et al. 2012). Aufgrund der Tatsache, dass in dieser Dissertationsarbeit beide Trainingsansätze aktiv waren und sich insbesondere in ihrer Komplexität (mentale Auslastung) unterschieden, kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass ein multi-domänen Trainingsansatz, aufgrund der Komplexität einem uni-domänen Training überlegen ist. In Zusammenhang der reduzierten neuronalen Auslastung ist umso interessanter, dass sich die Inhibitionsleistung auf Verhaltensebene bei keiner Trainingsgruppe verbesserte, auch nicht im Vergleich zur Kontrollgruppe. Möglicherweise sind diese Ergebnisse ein Hinweis, dass vor dem Training alle Versuchspersonen beim Lösen der Inhibitionsaufgaben Kompensationsstrategien anwendeten und einzig die Versuchspersonen der Fahrsimulator-Trainingsgruppe nach dem Training die Aufgaben ohne Nutzung von Kompensationsstrategien lösten. In Zusammenhang mit einer sicheren Verkehrsteilnahme bei älteren Kraftfahrern ist bekannt, dass Kompensationsstrategien angewendet werden (Hakamies-Blomqvist et al. 1999; Bélanger et al. 2010). Kompensationsstrategien wurden auch im Hinblick unterschiedlicher neuronaler Verarbeitungsmuster bei Inhibitionsaufgaben thematisiert (Wild-Wall et al. 2008), nicht jedoch bei Trainingsstudien. Wild-Wall et al. (2008) deuteten mit ihren Ergebnissen an, dass ältere Personen für eine Inhibitionsaufgabe mehr Aufmerksamkeitszuwendung zeigen als Jüngere, um dieselbe Performanz zu zeigen. Aufgrund der Ergebnisse dieser Dissertationsarbeit kann postuliert werden, dass aufgrund fehlender Leistungssteigerung auf Verhaltensebene und gleichzeitig reduzierter neuronaler Auslastung beim Lösen

der Inhibitionsaufgaben, die Fahrsimulator-Gruppe die Aufgabe mit niedriger Aufmerksamkeitszuwendung lösen konnte und möglicherweise für weitere Aufgaben geistige Kapazität zur Verfügung hatten. Inwieweit Trainingsmassnahmen Kompensationsstrategien beeinflussen, sollte weiter erforscht werden.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass mit dieser Dissertationsarbeit ein Beitrag zum Nachweis der Wirksamkeit eines Fahrsimulator-Trainings bei älteren Kraftfahrern geleistet werden konnte. Der Nachweis konnte auf drei verschiedenen Ebenen gezeigt werden. Erstens verbesserten sich die Versuchspersonen des Fahrsimulator-Trainings in ihrem realen kraftfahrerspezifischen Verhalten, zweitens zeigte sich eine Verbesserung ihres kognitiven Leistungsniveaus und drittens resultierte durch das Training eine Veränderung in der neuronalen Auslastung. Desweiteren zeigte diese Dissertationsarbeit, dass ein multi-domäner Trainingsansatz einem uni-domänen Ansatz zumindest hinsichtlich des Transfereffekts in eine Alltagshandlung (hier: Teilnahme am MIV) sowie neuronaler Plastizität (hier: neuronale Auslastung) überlegen ist.



## 5 Zeichenerklärung

AG: Silber

AG/CL: Silberchlorid

AMT: Adaptiver Matrizen Test

ATAVT: Tachistoskopischer Verkehrsauffassungstest

CIAn: Selektive Aufmerksamkeit

COG: Cognitrone

CR: Komplexe Wahlreaktion

DA: geteilte Aufmerksamkeit

DS: Entscheidungszeit

DT: Determinationstest

EEG: Elektroencephalografie

FFOV: Frontal Field of View

FFT: Fast Fourier Transformation

FI: Fluide Intelligenz

FV: Gesichtsfeldwinkel

IQ: Intelligenz Quotient

KogG: Kognitive Trainingsgruppe

KG: Kontrollgruppe

MIV: Motorisierter Individualverkehr

MS: Motorische Zeit

PP: Periphere Wahrnehmung

PS: Processing Speed

RT: Reaktionstest

SimG: Simulator Trainingsgruppe

SVG: Strassenverkehrsgesetz

UFOV: Useful Field of View



## 6 Literaturverzeichnis

- Ackerman, M. L., Edwards, J. D., Ross, L. A., Ball, K. K. & Lunsman, M. (2008). Examination of cognitive and instrumental functional performance as indicators for driving cessation risk across 3 years. *Gerontologist* 48(6): 802-810.
- Aksan, N., Anderson, S. W., Dawson, J. D., Johnson, A. M., Uc, E. Y. & Rizzo, M. (2012). Cognitive functioning predicts driver safety on road tests 1 and 2 years later. *Journal of the American Geriatrics Society* 60(1): 99-105.
- Andrés, P., Guerrini, C., Phillips, L. H. & Perfect, T. J. (2008). Differential effects of aging on executive and automatic inhibition. *Developmental neuropsychology* 33(2): 101-123.
- Anstey, K. J., Wood, J., Lord, S. & Walker, J. G. (2005). Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical Psychology Review* 25(1): 45-65.
- Ball, K., Edwards, J. D. & Ross, L. A. (2007). The impact of speed of processing training on cognitive and everyday functions. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences* 62 Spec No 1: 19-31.
- Ball, K., Edwards, J. D., Ross, L. A. & McGwin, G., Jr. (2011). Cognitive training decreases motor vehicle collision involvement of older drivers. *Journal of the American Geriatrics Society* 58(11): 2107-2113.
- Ball, K., Owsley, C., Sloane, M. E., Roenker, D. L. & Bruni, J. R. (1993). Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 34(11): 3110-3123.
- Basak, C., Boot, W. R., Voss, M. W. & Kramer, A. F. (2008). Can training in a real-time strategy video game attenuate cognitive decline in older adults? *Psychology and aging* 23(4): 765-777.
- Bélanger, A., Gagnon, S. & Yamin, S. (2010). Capturing the serial nature of older drivers' responses towards challenging events: a simulator study. *Accident Analysis and Prevention* 42(3): 809-817.
- Bherer, L., Kramer, A. F., Peterson, M. S., Colcombe, S., Erickson, K. & Becic, E. (2006). Testing the limits of cognitive plasticity in older adults: application to attentional control. *Acta Psychologica* 123(3): 261-278.
- Bieliauskas, L. A. (2005). Neuropsychological assessment of geriatric driving competence. *Brain Injury* 19(3): 221-226.
- Borghini, G., Vecchiato, G., Toppi, J., Astolfi, L., Maglione, A., Isabella, R., Caltagirone, C., Kong, W., Wei, D., Zhou, Z., Polidori, L., Vitiello, S. & Babiloni, F. (2012). Assessment of mental fatigue during car driving by using high resolution EEG activity and neurophysiologic indices. *Conference Proceedings of the IEEE* 2012: 6442-6445.
- Braitman, K. A., Chaudhary, N. K. & McCartt, A. T. (2010). Restricted licensing among older drivers in Iowa. *Journal of Safety Research* 41(6): 481-486.

- Braitman, K. A., Kirley, B. B., Ferguson, S. & Chaudhary, N. K. (2007). Factors leading to older drivers' intersection crashes. *Traffic Injury Prevention* 8(3): 267-274.
- Bundesamt für Statistik & Bundesamt für Raumentwicklung (2012). Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010. Mobilität und Verkehr. Schweiz, S. d. Neuchâtel und Bern, Bundesamt für Statistik.
- Burdick, D. J., Rosenblatt, A., Samus, Q. M., Steele, C., Baker, A., Harper, M., Mayer, L., Brandt, J., Rabins, P. & Lyketsos, C. G. (2005). Predictors of functional impairment in residents of assisted-living facilities: the Maryland Assisted Living study. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 60(2): 258-264.
- Cantin, V., Lavalliere, M., Simoneau, M. & Teasdale, N. (2009). Mental workload when driving in a simulator: effects of age and driving complexity. *Accident Analysis and Prevention* 41(4): 763-771.
- Cassavaugh, N. D. & Kramer, A. F. (2009). Transfer of computer-based training to simulated driving in older adults. *Applied Ergonomics* 40(5): 943-952.
- Casutt, G. (2013). Verkehrssicherheit älterer Kraftfahrer: Unfallrate und mögliche Massnahmen, Private Universität im Fürstentum Liechtenstein.
- Casutt, G., Martin, M. & Jäncke, L. (2013). Alterseffekte auf die Fahrsicherheit bei Schweizer Kraftfahrern im Jahr 2010. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 59(2): 84-91.
- Colcombe, S. & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological Science* 14(2): 125-130.
- Dahlin, E., Neely, A. S., Larsson, A., Backman, L. & Nyberg, L. (2008). Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science* 320(5882): 1510-1512.
- Dahlin, E., Nyberg, L., Backman, L. & Neely, A. S. (2008). Plasticity of executive functioning in young and older adults: immediate training gains, transfer, and long-term maintenance. *Psychological Aging* 23(4): 720-730.
- Dawson, J. D., Uc, E. Y., Anderson, S. W., Johnson, A. M. & Rizzo, M. (2010). Neuropsychological predictors of driving errors in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society* 58(6): 1090-1096.
- Eberhard, J. (2008). Older drivers' "high per-mile crash involvement": the implications for licensing authorities. *Traffic Injury Prevention* 9(4): 284-290.
- Edwards, J. D., Delahunt, P. B. & Mahncke, H. W. (2009). Cognitive speed of processing training delays driving cessation. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences* 64(12): 1262-1267.
- Edwards, J. D., Myers, C., Ross, L. A., Roenker, D. L., Cissell, G. M., McLaughlin, A. M. & Ball, K. K. (2009). The longitudinal impact of cognitive speed of processing training on driving mobility. *Gerontologist* 49(4): 485-494.
- Edwards, J. D., Perkins, M., Ross, L. A. & Reynolds, S. L. (2009). Driving status and three-year mortality among community-dwelling older adults. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences* 64(2): 300-305.
- Edwards, J. D., Ruva, C. L., O'Brien, J. L., Haley, C. B. & Lister, J. J. (2012). An Examination of Mediators of the Transfer of Cognitive Speed of Processing Training to Everyday Functional Performance. *Psychological Aging*.



- Fan, J. & Posner, M. (2004). Human attentional networks. *Psychiatrische Praxis* 31 Suppl 2: S210-214.
- Fonda, S. J., Wallace, R. B. & Herzog, A. R. (2001). Changes in driving patterns and worsening depressive symptoms among older adults. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences* 56(6): 343-351.
- Gevins, A. & Smith, M. E. (2000). Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cerebral Cortex* 10(9): 829-839.
- Gevins, A., Smith, M. E., Leong, H., McEvoy, L., Whitfield, S., Du, R. & Rush, G. (1998). Monitoring working memory load during computer-based tasks with EEG pattern recognition methods. *Human Factors Society* 40(1): 79-91.
- Gevins, A., Smith, M. E., McEvoy, L. & Yu, D. (1997). High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cerebral Cortex* 7(4): 374-385.
- Gevins, A., Smith, M. E., McEvoy, L. K., Ilan, A. B., Chan, C. S., Jiang, A., Sam-Vargas, L. & Abraham, G. (2011). A cognitive and neurophysiological test of change from an individual's baseline. *Clinical Neurophysiology* 122(1): 114-120.
- Hakamies-Blomqvist, L. (1994). Compensation in older drivers as reflected in their fatal accidents. *Accident Analysis and Prevention* 26(1): 107-112.
- Hakamies-Blomqvist, L., Mynttinen, S., Backman, M. & Mikkonen, V. (1999). Age-related differences in driving: Are older drivers more serial? *International Journal of Behavioral Development* 23(2): 575-589.
- Hanslmayr, S., Pastotter, B., Bauml, K. H., Gruber, S., Wimber, M. & Klimesch, W. (2008). The electrophysiological dynamics of interference during the Stroop task. *Journal of Cognitive Neuroscience* 20(2): 215-225.
- Hauke, J., Fimm, B. & Sturm, W. (2011). Efficacy of alertness training in a case of brainstem encephalitis: clinical and theoretical implications. *Neuropsychological Rehabilitation* 21(2): 164-182.
- Hildebrand, E. D. & Myrick, B. (2001). Collision experience and mobility concerns of the rural elderly. Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference XI. London, Ontario, University of New Brunswick, Transportation Group: 1-12.
- Holm, A., Lukander, K., Korpela, J., Sallinen, M. & Muller, K. M. (2009). Estimating brain load from the EEG. *Scientific World Journal* 9: 639-651.
- Hornke, L. F., Etzel, S. & Rettig, K. (2003). Manual Adaptive Matrices Test (AMT). *Mödling: SCHUHFRIED GmbH*.
- Horswill, M. S., Kemala, C. N., Wetton, M., Scialfa, C. T. & Pachana, N. A. (2010). Improving older drivers' hazard perception ability. *Psychology and Aging* 25(2): 464-469.
- Horswill, M. S., Marrington, S. A., McCullough, C. M., Wood, J., Pachana, N. A., McWilliam, J. & Raikos, M. K. (2008). The hazard perception ability of older drivers. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences* 63(4): P212-P218.
- Jäncke, L. (2009). The plastic human brain. *Restorative Neurology and Neuroscience* 27(5): 521-538.
- Jäncke, L. & Klimmt, C. (2011). Expertise in Video Gaming and Driving Skills. *Zeitschrift für Neuropsychologie* 22(4): 279-284.
- Kay, L. G., Bundy, A. C. & Clemson, L. M. (2009). Predicting fitness to drive in people with cognitive impairments by using DriveSafe and DriveAware. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 90(9): 1514-1522.

- Kelsey, S., Janke, MK (2005). *Pilot educational outreach to high risk elderly drivers*. Department of Motor Vehicles (DMV) [Hrsg.], Reihe California department of Motor Vehicles.
- Kramer, A. F., Colcombe, S. J., McAuley, E., Eriksen, K. I., Scalf, P., Jerome, G. J., Marquez, D. X., Elavsky, S. & Webb, A. G. (2003). Enhancing brain and cognitive function of older adults through fitness training. *Journal of Molecular Neuroscience* 20(3): 213-221.
- Langford, J., Charlton, J. L., Koppel, S., Myers, A., Tuokko, H., Marshall, S., Man-Son-Hing, M., Darzins, P., Di Stefano, M. & Macdonald, W. (2013). Findings from the Candrive/Ozcandrive study: Low mileage older drivers, crash risk and reduced fitness to drive. *Accident Analysis and Prevention*.
- Lavallière, M., Laurendeau, D., Simoneau, M. & Teasdale, N. (2011). Changing lanes in a simulator: effects of aging on the control of the vehicle and visual inspection of mirrors and blind spot. *Traffic Injury Prevention* 12(2): 191-200.
- Lavallière, M., Simoneau, M., Tremblay, M., Laurendeau, D. & Teasdale, N. (2012). Active training and driving-specific feedback improve older drivers' visual search prior to lane changes. *BioMed Central Geriatrics* 12: 5.
- Lees, M. N., Cosman, J. D., Lee, J. D., Fricke, N. & Rizzo, M. (2010). Translating cognitive neuroscience to the driver's operational environment: a neuroergonomic approach. *American Journal of Psychology* 123(4): 391-411.
- Lei, S. & Roetting, M. (2011). Influence of task combination on EEG spectrum modulation for driver workload estimation. *Human Factors Society* 53(2): 168-179.
- Lesch, M. F., Horrey, W. J., Wogalter, M. S. & Powell, W. R. (2011). Age-related differences in warning symbol comprehension and training effectiveness: effects of familiarity, complexity, and comprehensibility. *Ergonomics* 54(10): 879-890.
- Lustig, C., Shah, P., Seidler, R. & Reuter-Lorenz, P. A. (2009). Aging, training, and the brain: a review and future directions. *Neuropsychology Review* 19(4): 504-522.
- Lyman, S., Ferguson, S. A., Braver, E. R. & Williams, A. F. (2002). Older driver involvements in police reported crashes and fatal crashes: trends and projections. *Traffic Injury Prevention* 8(2): 116-120.
- Marmeleira, J. F., Godinho, M. B. & Fernandes, O. M. (2009). The effects of an exercise program on several abilities associated with driving performance in older adults. *Accident Analysis and Prevention* 41(1): 90-97.
- Marottoli, R. A., de Leon, C. F. M., Glass, T. A., Williams, C. S., Cooney, L. M., Jr. & Berkman, L. F. (2000). Consequences of driving cessation: decreased out-of-home activity levels. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences* 55(6): 334-340.
- Marottoli, R. A., Richardson, E. D., Stowe, M. H., Miller, E. G., Brass, L. M., Cooney, L. M., Jr. & Tinetti, M. E. (1998). Development of a test battery to identify older drivers at risk for self-reported adverse driving events. *Journal of the American Geriatrics Society* 46(5): 562-568.
- Mathias, J. L. & Lucas, L. K. (2009). Cognitive predictors of unsafe driving in older drivers: a meta-analysis. *International Psychogeriatrics* 21(4): 637-653.
- Mosimann, U. P., Bächli-Bietry, J., Boll, J., Bopp-Kistler, I., Donati, F., Kressig, R. W., Martensson, B., Monsch, A. U., Muri, R., Nef, T., Rothenberger, A., Seeger, R.,

- von Gunten, A. & Wirz, U. (2012). Consensus recommendations for the assessment of fitness to drive in cognitively impaired patients. *Praxis* 101(7): 451-464.
- OECD (2001). Ageing and Transport: Mobility Needs and Safety Issues. Paris.
- Owsley, C., McGwin, G., Jr., Phillips, J. M., McNeal, S. F. & Stalvey, B. T. (2004). Impact of an educational program on the safety of high-risk, visually impaired, older drivers. *American Journal of Preventive Medicine* 26(3): 222-229.
- Oxley, J. & Whelan, M. (2008). It cannot be all about safety: the benefits of prolonged mobility. *Traffic Injury Prevention* 9(4): 367-378.
- Poschadel, S., Falkenstein, M., Rinkenauer, G., Mendzheritskiy, G., Fimm, B., Worringer, B., Engin, T., Kleinemas, U. & Rudinger, G. (2012). *Verkehrssicherheitsrelevante Leistungspotenziale, Defizite und Kompensationsmöglichkeiten älterer Autofahrer*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen [Hrsg.], Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M231 Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Roemaker, D. L., Cissell, G. M., Ball, K. K., Wadley, V. G. & Edwards, J. D. (2003). Speed-of-processing and driving simulator training result in improved driving performance. *Human Factors Society* 45(2): 218-233.
- Romoser, M. R. (2013). The long-term effects of active training strategies on improving older drivers' scanning in intersections: a two-year follow-up to Romoser and Fisher (2009). *Human Factors Society* 55(2): 278-284.
- Romoser, M. R. & Fisher, D. L. (2009). The effect of active versus passive training strategies on improving older drivers' scanning in intersections. *Human Factors Society* 51(5): 652-668.
- Romoser, M. R., Pollatsek, A., Fisher, D. L. & Williams, C. C. (2013). Comparing the Glance Patterns of Older versus Younger Experienced Drivers: Scanning for Hazards while Approaching and Entering the Intersection. *Transportation Research. Part F, Traffic Psychology and Behaviour* 16: 104-116.
- Ross, L. A., Anstey, K. J., Kiely, K. M., Windsor, T. D., Byles, J. E., Luszcz, M. A. & Mitchell, P. (2009). Older drivers in Australia: trends in driving status and cognitive and visual impairment. *Journal of the American Geriatrics Society* 57(10): 1868-1873.
- Ross, L. A., Clay, O. J., Edwards, J. D., Ball, K. K., Wadley, V. G., Vance, D. E., Cissell, G. M., Roemaker, D. L. & Joyce, J. J. (2009). Do older drivers at-risk for crashes modify their driving over time? *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences and social sciences* 64(2): 163-170.
- Salthouse, T. A. (2009). When does age-related cognitive decline begin? *Neurobiology of Aging* 30(4): 507-514.
- Salthouse, T. A. (2010). Is flanker-based inhibition related to age? Identifying specific influences of individual differences on neurocognitive variables. *Brain and Cognition* 73(1): 51-61.
- Schaie, K. W. (2005). What Can We Learn From Longitudinal Studies of Adult Development? *Research in Human Development* 2(3): 133-158.
- Schuhfried. (n.d.). Retrieved 16.08.2013, from: <http://www.schuhfried.com/viennatestsystem10/accessories-special-keyboards>.
- Schuhfried, G. (1998). Manual Determination Test (DT). Mödling: SCHUHFRIED GmbH.
- Schuhfried, G. (2005). Manual Expert System Traffic (XPSV). Mödling: SCHUHFRIED GmbH.

- Schuhfried, G. & Prieler, J. (1997). Manual Reaction Test (RT). *Mödling: SCHUHFRIED GmbH*.
- Schuhfried, G., Prieler, J. & Bauer, W. (2002). Manual Peripheral Perception (PP). *Mödling: SCHUHFRIED GmbH*.
- Siren, A. & Meng, A. (2012). Cognitive screening of older drivers does not produce safety benefits. *Accident Analysis and Prevention* 45: 634-638.
- Sommer, M., Herle, M. & Häusler, J. (2008). Factorial and criterion validity of the Bad Tölzer Driving Test in samples of neurological patients and healthy adults: Result report. *Mödling: SCHUHFRIED GmbH*.
- Sommer, M., Herle, M., Häusler, J. & Arendasy, M. (2008). Von TAVTMB zu ATAVT: Eine Anwendung der automatisierten Itemgenerierung unter einschränkenden Rahmenbedingungen. Zweites Österreichisches Symposium für Psychologie im Militär. Ebner, G. & Fleck, G. Wien, Schriftenreihe der Landesverteidigungsakademie.
- Stalvey, B. T. & Owsley, C. (2003). The development and efficacy of a theory-based educational curriculum to promote self-regulation among high-risk older drivers. *Health Promotion Practice* 4(2): 109-119.
- Summala, H. (1996). Accident risk and driver behaviour. *Safety Science* 22(1-3): 103-117.
- Tay, R. (2011). Ageing driver licensing requirements and traffic safety. *Ageing and Society* 32(04): 655-672.
- Tisch, S., Silberstein, P., Limousin-Dowsey, P. & Jahanshahi, M. (2004). The basal ganglia: anatomy, physiology, and pharmacology. *Psychiatr Clin North Am* 27(4): 757-799.
- Vance, D. E., Roenker, D. L., Cissell, G. M., Edwards, J. D., Wadley, V. G. & Ball, K. K. (2006). Predictors of driving exposure and avoidance in a field study of older drivers from the state of Maryland. *Accident Analysis and Prevention* 38(4): 823-831.
- Wagner, M. & Karner, T. (2001). Manual Cognitrone (COG). *Mödling: SCHUHFRIED GmbH*.
- West, R. & Alain, C. (2000). Age-related decline in inhibitory control contributes to the increased Stroop effect observed in older adults. *Psychophysiology* 37(2): 179-189.
- Wild-Wall, N., Falkenstein, M. & Hohnsbein, J. (2008). Flanker interference in young and older participants as reflected in event-related potentials. *Brain Research* 1211: 72-84.
- Williams, A. F. & Carsten, O. (1989). Driver age and crash involvement. *American Journal of Public Health* 79(3): 326-327.
- Wood, J. M., Anstey, K. J., Kerr, G. K., Lacherez, P. F. & Lord, S. (2008). A multidomain approach for predicting older driver safety under in-traffic road conditions. *Journal of the American Geriatrics Society* 56(6): 986-993.
- Zelinski, E. M. (2009). Far transfer in cognitive training of older adults. *Restorative Neurology and Neuroscience* 27(5): 455-471.
- Zhang, J., Fraser, S., Lindsay, J., Clarke, K. & Mao, Y. (1998). Age-specific patterns of factors related to fatal motor vehicle traffic crashes: focus on young and elderly drivers. *Public Health* 112(5): 289-295.
- Ziegler, G., Dahnke, R., Jäncke, L., Yotter, R. A., May, A. & Gaser, C. (2012). Brain structural trajectories over the adult lifespan. *Human Brain Mapping* 33(10): 2377-2389.

Zook, N. A., Bennett, T. L. & Lane, M. (2009). Identifying at-risk older adult community-dwelling drivers through neuropsychological evaluation. *Applied Neuropsychology* 16(4): 281-287.



## 7 Curriculum Vitae

### • Aus- & Weiterbildungen

---

2014	Fachpsychologie Verkehrspsychologie FSP
2012 - 2014	Curriculum Verkehrspsychologie, Deutsche Psychologen Akademie Berlin, DPA
2009 - 2013	Studium Dr. phil., Universität Zürich (UZH) Studium Dr. scient. med., Private Universität Liechtenstein (UFL)
2003 - 2008	Studium lic. phil., Universität Zürich (UZH)
1997 - 2000	Eidg. Erwachsenen-Matur (mathematisch - naturwissenschaftlich), AKAD, Zürich
1992 - 1996	Dipl. Hochbauzeichner, Chur

### • Berufliche Tätigkeiten

---

Seit 2014	Neuropsychologe Neurorehabilitation Klinik Lengg, Zürich
Seit 2014	Gutachter Verkehrspsychologie, Zuger Kantonsspital, Baar
2013 - 2014	Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehrstuhl Neuropsychologie, Universität Zürich
2008 - 2014	Gutachter Verkehrspsychologie, Universität Zürich
2009 - 2010	Stationär, ambulant tätiger Neuropsychologe, Zürcher Höhenkliniken Wald und Zürich
2007 - 2008	Forschungsassistent EU-Forschungsprojekt "Presenccia", Universität Zürich
2007	Praktikum in der psychiatrischen Klinik Königsfelden (PDAG), Brugg
2006 - 2008	Assistent verkehrs- und neuropsychologische Gutachten, Universität Zürich
2006	Forschungspraktikum, Lehrstuhl Neuropsychologie, Universität Zürich
1997 - 2008	Teilzeitstellen zwecks Studienfinanzierung (u. a. Globus Zürich, Wein-Bar)

### • Publikationen

---

2015	Casutt, G., Martin, M. & Jäncke, L. (2015). Driving simulator training reduces brain workload in older drivers. <i>(under review)</i> . Casutt, G., & Jäncke, L. (2015). Strassenverkehrsunfälle im Ländervergleich: Unterschiedliche Unfallrate bei Senioren zwischen Deutschland und der Schweiz. <i>Zeitschrift für Verkehrssicherheit</i> 61(1): 7-20.
2014	Casutt, G., Theill, N., Martin, M., Jäncke, L. (2014). The Drive-Wise Project: Driving Simulator Training increases real driving performance in healthy older drivers. <i>Frontiers Aging Neuroscience</i> 6: 85. Casutt, G., Martin, M., Keller, M., Jäncke, L. (2014). The relation between performance in on-road driving, cognitive screening and driving simulator in older healthy drivers. <i>Transportation Research Part F</i> 22: 232-244.
2013	Casutt, G., Martin, M. & Jäncke, L. (2013). Alterseffekte auf die Fahrsicherheit bei Schweizer Kraftfahrern im Jahr 2010. <i>Zeitschrift für Verkehrssicherheit</i> 59(3): 162-169. Casutt, G. (2013). Sicher fahren auch im Alter. In: Strassenverkehr Schweiz 2014. Roland Köhler Verlag. Jg.: 6: 136-139. Casutt, G. (2013). Unfallzahlen und Unfallraten älterer Kraftfahrer. In: <i>Jahrbuch zum Strassenverkehrsrecht 2013</i> . Schaufhauser, R., Stämpfli Verlag. 9-22. Casutt, G. & Jäncke, L. (2013). Auswirkungen neuronaler Plastizität auf die Fahrsicherheit von Senioren. In: Tagungsband 8. Symposium der DGVM und DGVP, Hamburg. <i>Kirschbaum Verlag</i> . 2013. 57-59.

## Einfluss von Fahrsimulator-Training auf Fahrsicherheit von Senioren

- 2012 Casutt, G., Jäncke, L. (2012). Auswirkungen neuronaler Plastizität auf die Fahrsicherheit von Senioren. *Blutalkohol* 49/5.
- 2008 Beeli, G., Casutt, G., Baumgartner, T., & Jäncke, L. (2008). Modulating presence and impulsiveness by external stimulation of the brain. *Behavioral and brain functions*, 4, 33.

### • Vorträge

- 2015 Casutt, G., Neuropsychologische Beurteilung der Fahreignung nach Hirnfunktionsstörungen. *Ärztefortbildung Rehaklinik Lengg, Zürich*  
 Casutt, G., Ablauf einer verkehrspsychologischen Begutachtung Sichtweise eines Verkehrspsychologen. *Administrativmassnahmen Innerschweiz, Baar*  
 Casutt, G., Neuropsychologische Fahreignungsbeurteilung. *Interprofessionelle Fortbildung, Rehaklinik Lengg, Zürich*  
 Casutt, G., Strassenverkehrsteilnahme, Verkehrssicherheit: Was kann die Neuropsychologie beitragen? *Generalversammlung Schweizer Fahrberater, Baar*
- 2014 Casutt, G., Wissenschaftliche Betrachtung von Unfallzahlen: Ältere Lenker - Probleme und Potential. *KAM: Konferenz Administrativmassnahmen (ASA), Brunnen*  
 Casutt, G., Alter oder Routine? Senioren im motorisierten Individualverkehr. *Ärztefortbildung an den Kliniken Valens*  
 Casutt, G., Verhalten und Wahrnehmung älterer Kraftfahrer. *Zentrum für Gerontologie, Ringvorlesung UZH Zürich*  
 Casutt, G., Der alternde Autolenker. *Generalversammlung Schweizer Fahrberater, Mägenwil*
- 2013 Casutt, G., Deviante Impulse im Verkehrsverhalten: Konsequenzen für die Verkehrspsychologie. *Gesamtsitzung der Diagnostiker Verkehrspsychologie (VfV), Zürich*
- 2012 Invited Talk: Casutt, G., Jäncke, L., „Fahrsimulator-Training im Alter: Auszug aus dem „Drive Wise“ - Projekt“, 8. *Gemeinsames Symposium der Deutschen Gesellschaft für Verkehrsmedizin e.V. und der Deutschen Gesellschaft für Verkehrspsychologie e.V. (DGVM&DGVP), Hamburg*  
 Casutt, G., Diagnostik, Intervention und Fahrsicherheit im Alter. *Schuhfried GmbH, Mödling bei Wien*
- 2011 Casutt, G., „Plastizität und deren Auswirkung auf die Fahrfähigkeit von Senioren: Ein kognitives Multi-Domänen-Fahrsimulator-Training“. *Mittelbaukolloquium an Universität Zürich*  
 Casutt, G., Jäncke, L., „Plastizität und dessen Effekte auf die Fahrfähigkeit von Senioren: Ein kognitives Multi-Domänen-Fahrsimulator-Training“. *Sommertagung der schweizerischen Gesellschaft für Rechtsmedizin (SGRM), Basel*  
 Invited Talk: Casutt, G., Martin, M., „Modelle zur Erforschung von Stabilität als Entwicklungsziel: Plastizität als Voraussetzung für Stabilität am Beispiel der Fahrleistung – das „Drive Wise“-Projekt“. *Veranstaltungsseminar am IfAdo Leibniz Institut für Arbeitsforschung, Dortmund*  
 Casutt, G., Zöllig, J., Martin, M., Jäncke, L. „Plasticity in old adults and its effect on driving performance: Multi-domain driving simulator training “Drive Wise“- Project“. *SGP Congress of the swiss psychological society, Fribourg*

### • Medienberichte

- 2014 Interview „Kontrollen für Senioren am Steuer sollen verschärft werden“. Sendungsbeitrag: *10vor10, SRF1*  
 Interview „Strassenschilder als Unruhestifter“. Sendungsbeitrag: *10vor10, SRF1*
- 2013 Interview „Psicologia da traffic e tge ch'ins po eruir cuntut“. Zeitungsartikel: *La Quotidiana*  
 Interview „Die absoluten Unfallzahlen in der Altersgruppe 75 plus werden stark ansteigen“. Zeitungsartikel: *NZZ*  
 Interview „Höchstes Unfallrisiko über 80“. Zeitungsartikel: *Neue Luzerner Zeitung*  
 Interview „Ab 75 wird's gefährlich“. Zeitschriftenartikel: *Auto Bild, Nr.17, S. 88*  
 Interview „Autofahrer über 80 Jahre sind das grösste Risiko im Strassenverkehr“. Radiobeitrag: *Radio Argovia, Sendung Info am Abend*  
 Interview „Frauen häufiger in Unfälle verwickelt als Männer“. Radiobeitrag: *SRF 4 News, Sendung rendez-vous*



## Einfluss von Fahrsimulator-Training auf Fahrsicherheit von Senioren

- 2012      Interview „Sicher fahren bis ins hohe Alter“, Zeitschriftenartikel: *Projekt und Personenförderung UZH, Zürich*  
Interview „Projekt „Drive Wise“ Fahren im Alter“. Zeitschriftenartikel: *Stiftung Generation Plus, Eulen Blick 1/12, Oberlunkhofen*  
Interview „Nano Spezial: Bei Unfall - Forschung; Training für die Strasse“. Sendungsbeitrag: *Wissensmagazin Nano, 3Sat*  
Interview „Fahren im Alter: Hirntraining brings“. Sendungsbeitrag: *Motorshow TCS, SRF2*

### • Beiträge & Kredite

---

- 2011      Forschungskredit der Nachwuchsförderungskommission der Universität Zürich für das Projekt „Drive Wise“ - Fahren im Alter, Beitrag Fr. 102'285



## 8 Anhang

### Anhang 1:

### **Checkliste für die Studie und spez. für die EEG-Untersuchung:**

Name: _____	Vorname: _____
Strasse: _____	PLZ, Ort: _____
Alter in Jahren: _____	Geschlecht: _____

**Bitte beantworten Sie folgende Fragen gewissenhaft und kreuzen Sie bitte Zutreffendes an:**

**Wichtig: Ich weise Sie darauf hin, dass alle Angaben vertraulich behandelt werden!**

**Die Fragen dienen allein dazu, abzuschätzen, ob eine Person geeignet ist, an unserer Studie teilzunehmen.**

**1. Händigkeit:** ☐ rechtshändig ☐ linkshändig

**2. Fahrverhalten:**

- Seit wann besitzen Sie einen Führerausweis? \_\_\_\_\_
- Sind Sie noch im Besitz eines Führerausweises? ☐ ja ☐ nein
- Sind Sie im Besitz eines eigenen Autos? ☐ ja ☐ nein
- Wie viele Kilometer fahren Sie ungefähr mit Ihrem Auto pro Jahr? \_\_\_\_\_
- Sie fahren mit Ihrem Auto:
  - 1) in der Stadt ☐ ja ☐ nein
  - 2) auf der Autobahn ☐ ja ☐ nein
  - 3) auf Landstrassen ☐ ja ☐ nein
  - 4) tagsüber ☐ ja ☐ nein
  - 5) nachts ☐ ja ☐ nein
  - 6) bei jeder Witterung ☐ ja ☐ nein

7) Wenn Sie nicht bei jeder Witterung fahren, dann kreuzen Sie bitte folgende Schlechtwetterphasen an bei denen Sie nicht fahren:

☐ bei Regen      ☐ bei Schnee      ☐ bei Nebel

- Sie fahren ein Auto mit ☐ Automaten- oder ☐ Schaltgetriebe

### 3. Krankheiten:

- Leiden Sie zurzeit an einer Krankheit? ☐ ja ☐ nein
  - Wenn ja, an welcher ? \_\_\_\_\_
- Nehmen Sie zurzeit Medikamente? ☐ ja ☐ nein
  - Wenn ja, welche ? \_\_\_\_\_
- Hatten Sie jemals eine schwere Krankheit? ☐ ja ☐ nein
  - Wenn ja, welche ? \_\_\_\_\_
  - Haben Sie noch Beschwerden oder Behinderungen davon?  
☐ ja ☐ nein
    - Wenn ja, welche ? \_\_\_\_\_
- Leiden oder litten Sie je an einer psychischen Krankheit?  
☐ ja ☐ nein
  - Wenn ja, an welcher ? \_\_\_\_\_
  - Haben Sie noch Beschwerden? ☐ ja ☐ nein
    - Wenn ja, welche? \_\_\_\_\_
- Beziehen Sie eine Invalidenrente? ☐ ja ☐ nein
  - Wenn ja, seit wann und wofür? \_\_\_\_\_

#### 4. Unfälle:

Hatten Sie je (auch in der Kindheit) einen Unfall mit schweren Kopfverletzungen (Bewusstlosigkeit, Hirnerschütterung)? ☐ ja ☐ nein

- Wenn ja, was war passiert? \_\_\_\_\_

- Wann war das?

Hatten Sie jemals danach Beschwerden oder Behinderungen gehabt?

☐ ja    ☐ nein

- Wenn ja, welche ? \_\_\_\_\_

### 5. Medikamente und andere Substanzen:

Verschiedene legale sowie illegale Substanzen (wie zum Beispiel Alkohol, Antidepressiva, Cannabis, LSD, etc.) haben einen direkten Einfluss auf das Hirn.

## Einfluss von Fahrsimulator-Training auf Fahrsicherheit von Senioren

Bei unseren wissenschaftlichen Experimenten möchten wir das **normal funktionierende** und **gesunde** Hirn untersuchen. Es ist für uns deshalb äusserst wichtig, sicher zu sein, dass keine Einflüsse irgendwelcher Substanzen unsere Resultate verfälschen. Wir möchten Sie daher **eindringlich** bitten, die folgenden Fragen ehrlich zu beantworten.

Ihre Antworten werden absolut vertraulich behandelt.

Nehmen Sie regelmässig illegale Substanzen zu sich? ☐ ja ☐ nein

- Wenn ja, was und wie häufig? \_\_\_\_\_

Trinken Sie täglich oder mehrmals wöchentlich Alkohol? ☐ ja ☐ nein

- Wenn ja, wie viel und wie häufig? \_\_\_\_\_

Nehmen Sie regelmässig Medikamente zu sich? ☐ ja ☐ nein

- Wenn ja, welche Medikamente und in welcher Dosierung?

\_\_\_\_\_

Haben Sie je an einer Vergiftung gelitten? ☐ ja ☐ nein

- Wenn ja, was war passiert?

\_\_\_\_\_

### 6. Visus:

- Ist Ihre Sehkraft:
  - rechts korrigiert tiefer als 0.6? ☐ ja ☐ nein
  - links korrigiert tiefer als 0.6? ☐ ja ☐ nein
  - rechts unkorrigiert tiefer als 0.6? ☐ ja ☐ nein
  - links unkorrigiert tiefer als 0.6? ☐ ja ☐ nein
- Brauchen Sie eine Brille oder Kontaktlinsen? ☐ ja ☐ nein
- Ist bei Ihnen Farbenblindheit bekannt? ☐ ja ☐ nein
- Leiden Sie unter einer Gesichtsfeldeinschränkung?  
☐ ja ☐ nein

### 7. Gehör:

Haben Sie eine Beeinträchtigung Ihrer Hörfähigkeit? ☐ ja ☐ nein

### 8. Motorik:

Haben Sie eine Beeinträchtigung der Motorik oder der Beweglichkeit?

☐ ja ☐ nein

### 9. Studienterminplanung:

Ich würde am liebsten zu folgendem Termin mit der Studie beginnen: \_\_\_\_\_

## Einfluss von Fahrsimulator-Training auf Fahrsicherheit von Senioren

Ich würde am zweitliebsten zu folgendem Termin mit der Studie beginnen:\_\_\_\_\_

Ich würde am drittliebsten zu folgendem Termin mit der Studie beginnen:\_\_\_\_\_

Anhang 2:

**Protokollbogen Probefahrt**

Zeit-, Teilnehmer- und Streckeninformation

Vp-Nr.: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_ Zeit: \_\_\_\_\_

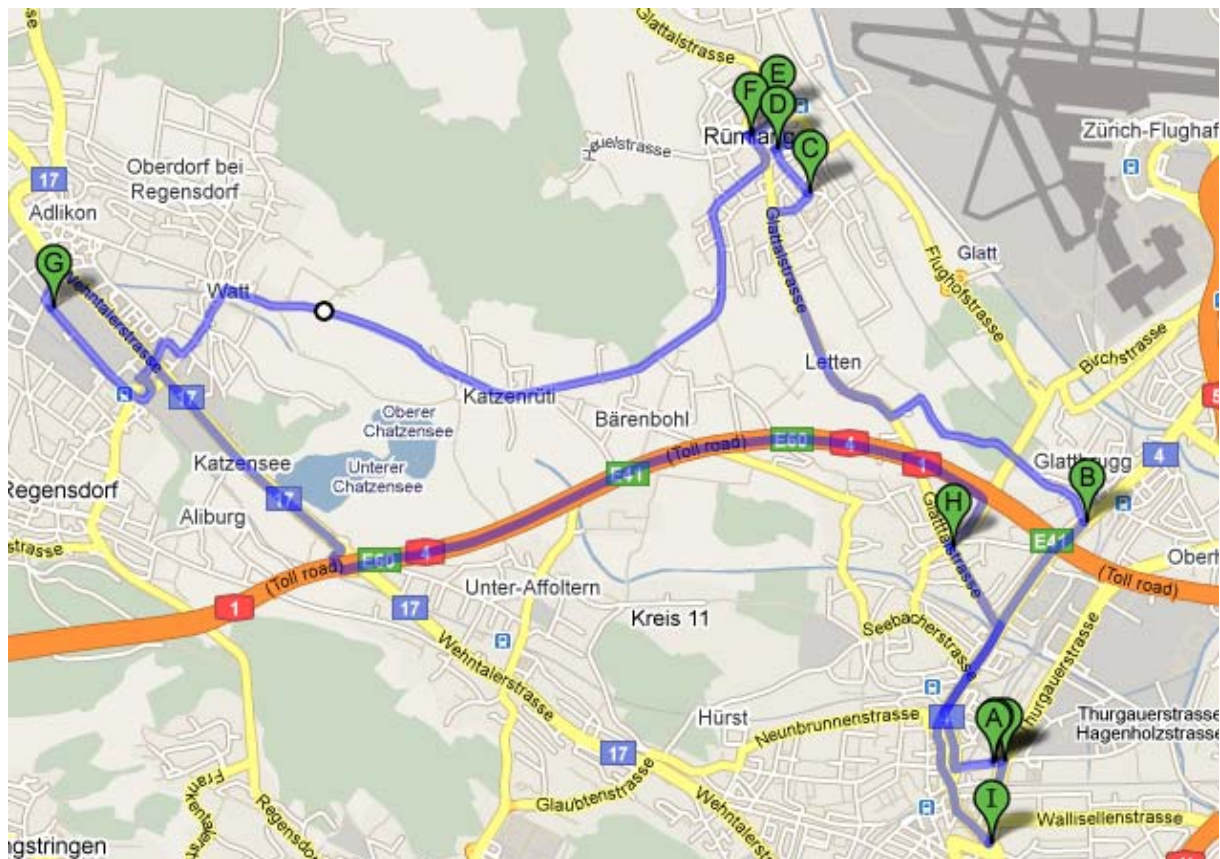
Verkehrsspezifische Fahreignung bei der Probefahrt:

Probefahrt: ☐ Erste Probefahrt ☐ Zweite Probefahrt

Gefahrene Strecke: ☐ Strecke Rümlang - Regensdorf ☐ Strecke Regensdorf – Rümlang

Getriebeart: ☐ Automatikschaltung ☐ Handschaltung






Wettersituation: ☐ schön ☐ bewölkt ☐ Regen ☐ Schnee



Bewertungshinweise und Operationalisierung:






- |    |            |            |
|----|------------|------------|
| 😊😊 | sehr gut   | (5 Punkte) |
| 😊  | gut        | (4 Punkte) |
| 😐  | genügend   | (3 Punkte) |
| 😞  | ungenügend | (2 Punkte) |
| 😞😞 | schlecht   | (1 Punkt)  |

**Beobachtung von Verkehrssituationen:**

					
Beachten anderer Automobilisten					
Beachten Fahrradfahrer					
Beachten Fussgänger					
Voraussicht (Verkehrsschilder, Lichtsignale)					
Verzweigungen mit Rechtsvortritt (Bremsbereitschaft)					
Verzweigungen mit „kein Vortritt“ (Kontrollblicke l/r)					






Durchschnittliche Beurteilung der Verkehrsbeobachtung: \_\_\_\_\_

**Verkehrsspezifisches Verhalten:**

					
Verhalten im Kreisverkehrsplatz bei Einfahrt					
Verhalten im Kreisverkehrsplatz bei Ausfahrt					
Verhalten bei Fahrstreifenwechsel					
Verhalten bei Autobahneinfahrt					
Verhalten bei Autobahnausfahrt					
Allgemeines Bremsverhalten					
Allgemeines Beschleunigungsverhalten					

Durchschnittliche Beurteilung des Verhaltens: \_\_\_\_\_






**Blicksystematik**

					
Spiegelbenützung (Innen- und Aussenspiegel)					
Seiten- und/oder Schulterblicke					
Wegfahren					
Anhalten					
bei Richtungsänderung links/recht					
Fahrstreifenwechsel					
Überholen					
Vorbeifahren					

Durchschnittliche Beurteilung des Blickverhaltens: \_\_\_\_\_








### Anzeigen von Richtungswechsel

					
Richtungsänderung links/recht					
Fahrstreifenwechsel					
Überholmanöver					
Vorbeifahren					
Kreisverkehrsplatz					
Autobahn Ein-/Ausfahrt					






Durchschnittliche Beurteilung des Richtungswechsel: \_\_\_\_\_

### Situationsabhängiges Fahrverhalten:

					
Zone 30					
Quartier					
Kreisverkehr					
Innerorts					
Ausserorts					
Bergstrasse					
Autostrasse/Autobahn					






Durchschnittliche Beurteilung situativen Fahrverhaltens: \_\_\_\_\_

### Geschwindigkeitsgestaltung:

					
Innerorts					
Ausserorts					
Kenntnis v max.					
Einhaltung v max.					
Abstandseinhaltung innerorts					
Abstandseinhaltung ausserorts					
Abstandseinhaltung Autobahn					

Durchschnittliche Beurteilung der Geschwindigkeitsgestaltung: \_\_\_\_\_

**Spurverhalten/Abbiegen:**

					
Spurverhalten geradeaus					
Spurverhalten in Kurven					
Einspuren bei Linksabbiegen					
Einspuren bei Rechtsabbiegen					
Einspuren bei Lichtsignalen					
Berücksichtigen von Radfahrer/Mofas					

Durchschnittliche Beurteilung des Spurverhaltens: \_\_\_\_\_

**Gesamtbeurteilung der Fahrkompetenz:** \_\_\_\_\_

**Einschätzung der allgemeinen Fahrkompetenz durch Fahrberaterin:**

Fahrkompetenz:    ☐ gut            ☐ genügend            ☐ ungenügend

Besonderheiten bezüglich:

1. Strecke (Stau, Umleitung, Hindernisse etc.):

---

---

---

2. Person (Unsicherheit, Nervosität, Motorik etc.):

---

---

---

Anhang 3:

## **Einstellung zum kognitiven Training**

**Wir würden gern wissen, wie Ihre momentane Einstellung zu diesem Training ist. Dazu finden Sie auf dieser Seite Aussagen. Wir bitten Sie, für jede Aussage anzukreuzen, inwieweit die Aussage auf Sie zutrifft!**

1. Ich bearbeite gerne solche Aufgaben wie die vom Fahrtraining.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
2. Ich glaube, dass ich der Schwierigkeit des Trainings gewachsen bin.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
3. Wahrscheinlich werde ich es nicht schaffen, meine Leistung im Training zu steigern.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
4. Am Training mag ich, dass ich das Lernen übe und so meine Wahrnehmung prüfen kann.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
5. Ich fühle mich unter Druck, mich beim Training verbessern zu müssen.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
6. Das Training ist eine richtige Herausforderung für mich.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
7. Meinem ersten Eindruck nach erscheint mir das Training sehr interessant.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
8. Ich bin sehr gespannt darauf, wie stark ich mich beim Training verbessern werde.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
9. Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich beim Training blamieren könnte.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
10. Ich bin fest entschlossen, mich beim Training voll anzustrengen.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
11. Bei solchen Aufgaben wie im Training brauche ich keine Belohnung – sie machen mir auch so viel Spass.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
12. Es wäre mir etwas peinlich, beim Training zu versagen.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
13. Ich glaube, jeder kann schaffen, sich beim Training zu verbessern.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
14. Ich glaube, ich schaffe es nicht, immer schwierigere Trainingsaufgaben zu lösen.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
15. Wenn ich das Training meistere, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein.  
trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
16. Wenn ich an das Training denke, bin ich etwas beunruhigt.

## Einfluss von Fahrsimulator-Training auf Fahrsicherheit von Senioren

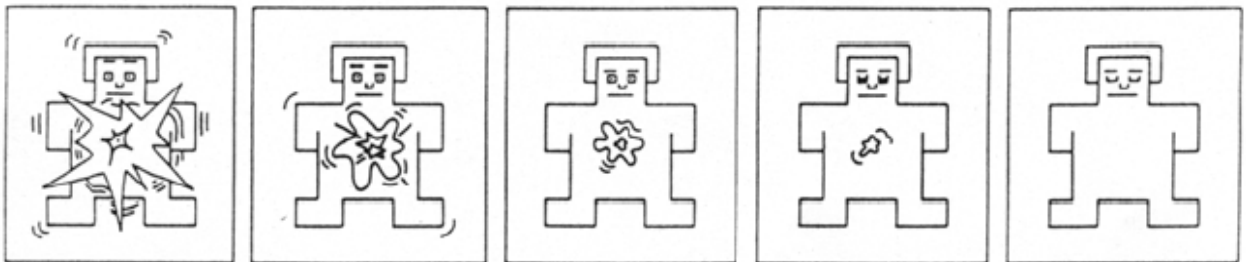
- trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
17. Solch ein Training würde ich wieder absolvieren.
- trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu
18. Die konkreten Trainingsanforderungen lähmen mich.
- trifft nicht zu    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    ☐    trifft zu

Anhang 4:

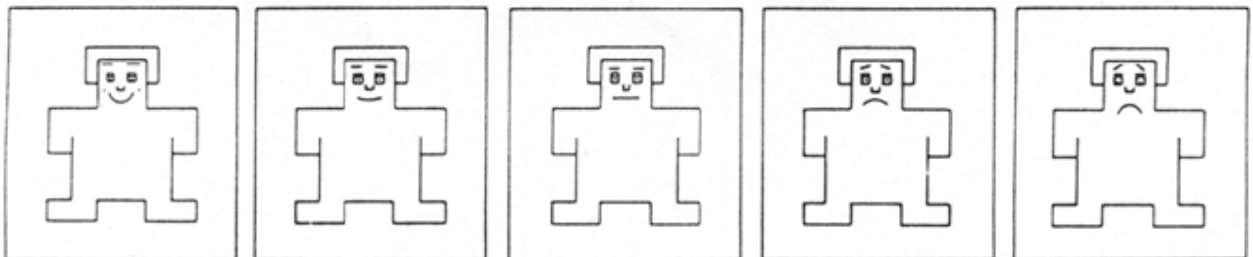
**Fragen zu Ihrer aktuellen Stimmung**

Bitte setzen Sie jeweils bei den beiden Fragen ein X in eines der 5 Kästchen

Wie stark waren Sie während des Trainings emotional erregt?



Wie angenehm bzw. unangenehm war Ihr Gefühl während des Trainings?



Vielen Dank für das Ausfüllen des Fragebogens!

Anhang 5:

**Fragen zu Kinetosen**

Haben Sie während dem Fahren...

- ...Übelkeit verspürt?

keine	kaum	mittel	stark	sehr stark
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- ...das Gefühl gehabt verschwommen zu sehen?

keine	kaum	mittel	stark	sehr stark
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- ...ein Schwindelgefühl bemerkt?

keine	kaum	mittel	stark	sehr stark
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Danke für das Beantworten der Fragen!